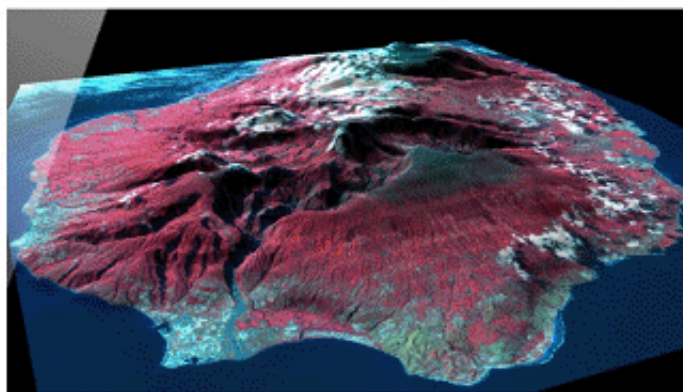
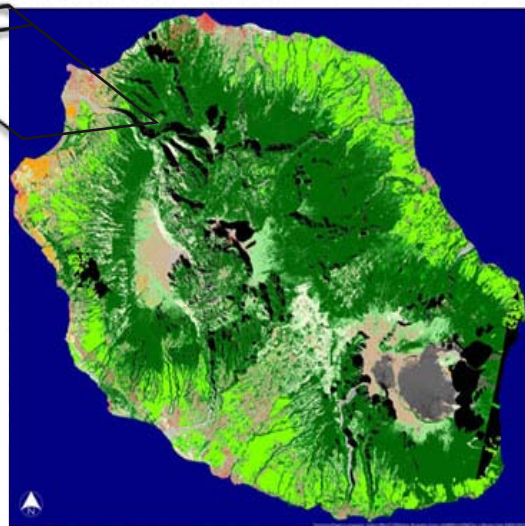
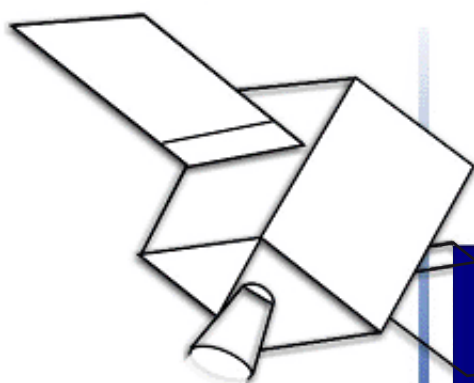


PROJET AGIL

RAPPORT REUNION



Site pilote de la Réunion

octobre 2005



L'île de la Réunion

Une problématique tournée vers la qualité des eaux du lagon

1. INTRODUCTION.....	3
2. CONTEXTE.....	4
2.1. ETAT DES LIEUX	4
2.1.1. Diagnostic économique et social.....	4
2.1.2. Les politiques sectorielles, territoriales et environnementales.....	7
2.1.3. Bilan des études entreprises, des projets en cours et futurs sur la région.....	8
2.2. CONDITIONS D'INITIALISATION DU PROCESSUS GIZC A LA REUNION.....	10
2.2.1. Acteurs et mécanismes institutionnels.....	10
2.2.2. Le processus de création d'une Aire Marine Protégée sur la zone récifale....	13
3. DÉMARCHE AGIL.....	17
3.1. LES PROCESSUS ETUDIES	17
3.2. LES PRODUITS AGIL	20
3.2.1. Cartographie de l'occupation des sols à très haute résolution	20
3.2.2. Extraction du bâti à partir d'images THR	23
3.2.3. Définition et cartographie de la tâche urbaine par télédétection THR	28
3.2.4. Suivi de l'évolution des modes d'occupation des sols entre 1989 et 2002	31
3.2.5. Cartographie de l'aléa érosion des sols	36
3.2.6. Bathymétrie des petits fonds dans le lagon	48
3.2.7. Dynamique du trait de côte	51
3.2.8. Cartographie de la vitalité récifale.....	53
3.2.9. Ocean : Suivi de la dynamique océanique	62
3.3. APPROCHE ACTEURS.....	65
3.3.1. Méthodologie.....	65
3.3.2. Les enquêtes réalisées	71
3.3.3. Les perceptions des acteurs.....	81
3.3.4. Analyse par produits	85
3.3.5. Pertinence et adaptations des produits AGIL	91
3.4. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	93
3.4.1. Retour sur la démarche	93
3.4.2. Recommandations	94
4. LE SYSTEME AGIL	95
4.1. DESCRIPTION.....	95
4.1.1. Concepts fondateurs.....	95
4.1.2. Les standards en géomatique	96
4.2. CONCEPTS TECHNIQUES	97
4.2.1. Projets open source normalisés	97
4.2.2. Mise en oeuvre d'infrastructures de données spatiales.....	98
4.2.3. Développement d'applications métier en environnement distribué	99
4.3. PERSPECTIVES A LA REUNION.....	100
5. CONCLUSION : L'ARTICULATION GESTION INTEGREE/OBSERVATION DE LA TERRE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

La rédaction a été assurée par (ordre alphabétique) :

Martine Antona (CIRAD),
Aurélie Botta (CIRAD),
Ywenn De la Torre (BRGM)
Williams Dare (CIRAD),
Gilbert David (IRD),
Marc Despinoy (IRD),
Laurent Durieux (IRD),
Vincent Heurtaux (IRD)
M. Slepoukha (IRD)
Aurélie Thomassin (IRD)

Coordination : Gilbert David

Autre Personnel AGIL impliqué sur le chantier Réunion :

Ahmed Batti (IRD),
Pierre Chevalier (BRGM)
Jacques Denis (IFREMER)
Erwann Lagabrielle (CIRAD)
Valentine Lebourgeois (CIRAD)
Carlos Oliveiros (BRGM)
Jean Michel Roques (SCOT)
Valérie Soti (CIRAD)

Collaborateurs d'autres organismes :

Thierry Kaufmant (APR)
Nicolas Villeneuve (Université de la Réunion)
Bruce Covin (Parc Marin)
Jean-Pascal Quod (Arvam)

1. INTRODUCTION

Le choix de la Réunion s'est imposé comme site pilote de démonstration du projet AGIL en raison des considérations suivantes :

- le territoire est de taille modeste mais fait l'objet d'enjeux institutionnels forts, qu'il s'agisse a) du projet de création d'une réserve marine sur son littoral corallien ; b) de la mise en œuvre de l'intercommunalité dans un contexte marqué par des communes étendues, depuis la ligne de rivage jusqu'au sommet des bassins versants ; c) de la bonne gouvernance d'un espace soumis à une pression anthropique élevée, génératrice de tensions sociales et de dégradations écologiques potentielles ;
- les usages du littoral sont multiples : pêche vivrière, récréative, commerciale, informelle, tourisme international et local, habitat balnéaire,...
- La Réunion est une île haute à la topographie particulièrement pentue et aux bassins versants de faible dimension, dont les sommets sont soumis à d'abondantes et fréquentes précipitations. Dans ce contexte, la gestion intégrée du littoral passe par la prise en compte des dynamiques naturelles et anthropiques des bassins versants. Cette nécessaire gestion intégrée « bassins versants/littoral » retient de plus en plus l'attention des planificateurs du territoire à l'échelle internationale. C'est sur ce thème précis que la contribution de l'Observation de la Terre (OT) pour gérer le littoral apparaît comme la plus productive et en ce domaine la Réunion fait office de zone pilote, voire de laboratoire, pour nombre de littoraux de la zone intertropicale.

La contribution du projet AGIL à la mise en place d'une démarche GIZC à la Réunion trouve sa justification dans la création future d'une réserve marine sur les lagons des communes de Saint-Paul, Trois-Bassins, Saint-Leu et Etang-Salé. La mise en réserve vise à réguler les usages dans le lagon et sur le littoral. Mais si elle apparaît comme une condition nécessaire, elle n'est certainement pas suffisante pour assurer une protection efficace du milieu récifal.

L'intérêt de la démarche GIZC proposée par AGIL est d'inclure le bassin versant dans la réflexion, notamment comme vecteur de flux hydriques et support de changements d'usages. C'est pourquoi la zone d'étude AGIL couvre le littoral et les bassins versants associés. Elle s'étend de la rivière des Galets qui marque la limite des communes du Port et de Saint Paul, à « trou d'eau » qui correspond à la fin du massif récifal de l'Hermitage La Saline, le plus vaste de la Réunion.

Les objectifs du projet AGIL sont triples :

- identifier comment l'Observation de la Terre grâce à l'imagerie satellitaire peut contribuer à l'analyse des interactions entre la société et la zone littorale à la Réunion ;
- engager une approche utilisateur des produits proposés en appui aux démarches GIZC. Rencontrer les potentiels utilisateurs des produits développés permet de recueillir leurs avis sur la pertinence de ces outils, leurs intérêts et leurs limites. L'objectif était aussi d'initier une discussion sur le sujet de la GIZC et de sa mise en pratique dans les actions d'aménagement actuelles ;
- évaluer la demande en matière de produits plus spécifiques de l'imagerie satellitaire de la part des acteurs du territoire, au delà des produits déjà proposés.

Au total 13 personnes du consortium AGIL ont travaillé sur ce chantier Réunion : trois appartiennent au BRGM (P.Chevalier, Y de la Torre, C. Oliveiros), quatre au CIRAD (M. Antona, A. Botta, W. Daré, V. Soti), une à Scot (J.M. Roques), six à l'IRD (G. David, M. Despinoy, L. Durieux, V. Heurtaux, M. Slepoukha, A. Thomassin) organisme qui a assuré la coordination du chantier.

2. CONTEXTE

2.1 Etat des lieux

2.1.1. Diagnostic économique et social

La zone littorale

D'une superficie de 2 512 km², l'île de la Réunion se compose de reliefs montagneux très escarpés d'origine volcanique qui culminent à une altitude de 3 069 m et se prolongent sous la mer par un plateau continental étroit atteignant au plus 7 km de large. Tout autour, les fonds sous-marins dépassent rapidement 4 000 m de profondeur. Sur les 208 km de linéaire côtier que compte l'île de la Réunion, les formations coralliennes et les plages associées ne représentent que 25 km de linéaire, soit 12 %. Il s'agit de récifs frangeants dotés d'un chenal d'embarcation bien développé, qualifié localement de « lagon ».

Les récifs coralliens sont localisés à l'ouest de l'île où ils constituent une ceinture discontinue d'une longueur totale de 25 km, entre le Cap La Houssaye et Grand Bois, soit à peine 8 % du périmètre de l'île (208 km). Compte tenu de leur faible extension vers le large mais également au-dessus du socle rocheux, ces formations récifales sont très jeunes. La plupart d'entre-elles appartiennent au type frangeant, il existe cependant quelques plateformes récifales et bancs récifaux ou récifs embryonnaires. Les formations coralliennes à la Réunion peuvent être divisées en 4 parties (figure 1) :

- l'unité de Saint-Gilles-La Saline, la plus grande, formée par les plates-formes récifales du Cap Homard, Cap Champagne, de Grand-Fond et de la Souris Chaude et du récif frangeant de Saint-Gilles/La Saline ;
- l'unité de Saint-Leu, formée par les plates-formes récifales de la Pointe des Châteaux, de la Chaloupe, de la Fontaine et de la Pointe au Sel, et du récif frangeant de Saint-Leu ville ;
- le récif frangeant de l'Etang-Salé;
- l'unité de Saint-Pierre, formée par les plates-formes récifales de Grand-Bois et de Grande Anse, et des récifs frangeants de Saint-Pierre et de Terre Sainte.

La pression anthropique sur cet ensemble est particulièrement élevée, notamment sur la commune de St Gilles, principale station balnéaire de l'île qui accueille à la fois les réunionnais et les touristes en villégiature.

■ Localisés à l'Ouest de l'île :

- ✓ Saint-Gilles / La Saline
- ✓ Saint-Leu
- ✓ Étang-Salé
- ✓ Saint-Pierre

La Réunion



Figure 1 – Localisation des formations récifales de la Réunion

Littoral et population

Au 1 janvier 2004, la population de la Réunion était estimée à 760 000 habitants, soit 303 hab/km², et il est prévu qu'elle approche les 827 000 habitants à l'horizon 2010. La répartition de la population est très hétérogène avec un déséquilibre d'une part entre les Hauts de l'île (67,5% du territoire) et les Bas, et d'autre part entre le littoral oriental et le littoral occidental. Actuellement, la population se concentre à 82% sur la frange littorale où la densité à l'hectare est de 3 à 4 fois supérieure à la densité moyenne de la Réunion. Les côtes ouest et nord-ouest de l'île subissent la plus forte pression urbaine. Ces plaines littorales forment un continuum urbain (tableau 1).

Tableau 1 - Population des villes des côtes Nord-Ouest et Ouest

St Denis- Ste Marie	158 225
Le Port	38 367
Saint Paul	87 712
Saint Louis	43 991
Saint-Pierre	69 009

Corollaire du dynamisme démographique, les situations du logement et de l'emploi à la Réunion sont très préoccupantes et les prestations sociales (chômage, RMI, allocations familiales) constituent souvent les principales sources de revenus de nombre de ménages urbains (dans certains quartiers des communes du sud de l'île, comme St Philippe, le chômage concerne 70 % de la population active). Outre les transferts en provenance de Paris et de Bruxelles (la Réunion est classée comme région prioritaire à développer dans le cadre de l'UE), l'économie est marquée par un secteur rural encore important : la canne à sucre occupe encore de vastes superficies sur les versants arrosés de l'île.

Les activités liées au littoral

Sur les plaines littorales, l'extension urbaine et les aménagements se réalisent dans de larges espaces hybrides à la fois urbains et péri-urbains s'étendant au-delà de 10 km de centre urbains très compacts. Le bâti y est très dispersé en raison du relief et des ravines. Au-delà, la transition avec les espaces ruraux est en revanche plus brutale. Les enjeux sont alors à l'échelle des entités administratives concernées :

- d'éviter des effets d'engorgement liés à l'accueil des populations, y compris touristiques (cf. Saint Leu) ;

- de gérer les besoins en terme d'assainissement (cf. l'Hermitage, la Ravine) ;
- de planifier le développement urbain à mi-pente (entre 300 et 500m), zone d'attraction compte tenu d'un prix du foncier 4 fois inférieur au prix du foncier littoral et du déclassement de terres agricoles.

L'occupation agricole suit deux dynamiques qui modifient la configuration de l'espace agricole et la nature des interactions biophysiques avec le littoral :

- une diminution du foncier agricole, qui apparaît comme non homogène sur la zone ;
- une convergence des activités agricoles sur des zones à mi pente. a) La « montée » de la canne à sucre sur les pentes se fait avec l'extension de la canne irriguée à l'Ouest sur des espaces anciennement qualifiés de savanes. Cette « poussée » de la canne devrait croître compte tenu des infrastructures mises en place (entre 300-600m d'altitude) ; l'occupation d'espaces de friches, également à mi pente, serait permise par des essais en cours de nouvelles variétés de canne pluviale. b) L'augmentation des prairies pour l'activité d'élevage laitier sur les Hauts de l'Ouest illustre une activité d'élevage « descendant » sur les pentes (au dessus 600m). Elle entre en conflit avec les systèmes de polyculture-élevage, en régression. La reconversion des acteurs de la filière polyculture-élevage vers l'agrotourisme et le maintien d'une population rurale dans les Hauts sont des enjeux de développement à moyen terme qui peuvent avoir des répercussions sur le littoral.

La zone littorale se caractérise aussi par le développement industriel de la zone St-Paul/Le Port, qui joue un rôle de bassin d'emploi et par le développement du tourisme sur les communes de St Paul, St Leu et dans une moindre mesure d'Etang Salé. D'une manière générale, le tourisme représente de loin la principale activité économique du littoral récifal de ces trois communes, qui en 1998 ont accueilli 60% des nuitées sur l'Ile. La seule frange côtière de St Gilles/la Saline, sur laquelle se développe les principales formations récifales de la Réunion, concentre 1091 chambres, soit une capacité d'accueil trois fois supérieure à celle de St Denis. En 1990, l'activité touristique aurait contribué à 3 % du PIB de la Réunion. Le cap des 400 000 touristes a été franchi en 1999 mais en 2003 celui des 500 000 touristes était encore loin d'être atteint. D'un montant de 1790 millions de francs en 1998, le chiffre d'affaires généré par le tourisme est désormais supérieur à celui de la filière sucrière.

Longtemps considérée comme un secteur sans potentialité réelle du fait de l'étroitesse du plateau continental, la pêche artisanale a connu ces quinze dernières années une évolution notable, notamment avec la généralisation des dispositifs de concentration de poissons (DCP). Les poissons démersaux inféodés aux récifs coralliens ne représentent que 6 % (90 t) de la production totale de la petite pêche artisanale (1. 235 t en 1994), mais 36 % de l'ensemble de la production démersale de l'île. Toutefois cette petite pêche axée sur les ressources du récif reste une activité marginale qui relève principalement du secteur informel, hormis la pêche saisonnière de mugilidés : les capucins nains dont l'exploitation ne se fait qu'après délivrance d'un permis nominatif.

Par ailleurs le récif est directement ou indirectement le support d'activités et d'usages, y compris non marchands, qui contribuent à faire de cette zone un bassin d'attraction (figure 2).

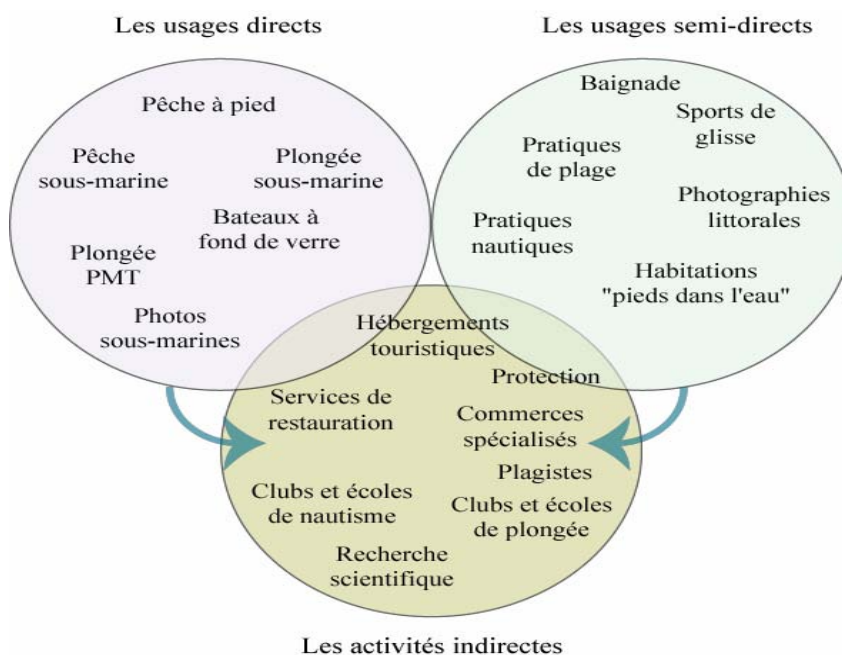


Figure 2 - Usages directs et indirects liés au récif (source E. Mirault *et al.*, 2005)

2.1.2. Les politiques sectorielles, territoriales et environnementales

L'ensemble des lagons de l'Ile ainsi que les barrières récifales externes (jusqu'à l'isobathe -50 mètres) du Cap la Houssaye, de l'Hermitage (Saint-Gilles) et de la Saline sont protégés par un arrêté préfectoral depuis 1976, modifié par l'arrêté de 1982 régulant l'activité halieutique.

Par ailleurs, département français, la Réunion bénéficie de l'ensemble des outils mis en oeuvre par les législateurs et les planificateurs pour aménager de manière rationnelle et protéger le littoral, notamment la loi littorale du 3 janvier 1986.

L'ensemble de ces outils est intégré dans un Schéma d'Aménagement Régional (SAR) qui, élaboré à l'initiative du Conseil Régional, définit depuis sa promulgation en 1995 les grandes orientations à prendre en matière d'aménagement et de développement régional à l'horizon 2010. Un Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) est intégré au SAR. Ces documents d'urbanisme globaux définissent un zonage de l'espace réunionnais à l'échelle du 1 /100 000^e qui s'impose aux communes pour la réalisation de leurs Plans Locaux d'Urbanisme (PLU).

La révision du SAR devrait être promulguée dans les prochaines semaines. Suite à la loi sur l'aménagement du territoire, dite « loi Voynet », une communauté d'agglomération des communes de l'ouest a été créée au 1 janvier 2002. Ce Territoire des Communes de l'Ouest (TCO) englobe les communes de La Possession, du Port, de St Paul, de Trois Bassins et de St Leu. Sur l'ensemble de cette zone, un Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) est en cours d'élaboration.

Le Conservatoire du littoral et des rivages lacustres est représenté à la Réunion. Fin 2000, 16 sites naturels remarquables du littoral réunionnais étaient classés ou en cours de classement ; ils représentent un total de plus de 1000 ha, la moitié d'entre eux se situant en zone corallienne ou en périphérie.

2.1.3. Bilan des études entreprises, des projets en cours et futurs sur la région.

Les études

Les récifs de la Réunion sont les mieux connus des DOM/TOM en raison de leur superficie limitée et de l'effort de recherche qui y a été consacré. Le Laboratoire d'Ecologie Marine de l'Université (ECOMAR) fait figure de précurseur en la matière en assurant depuis une trentaine d'années un suivi du récif de Saint-Gilles/La Saline, le long de deux radiales. Depuis le milieu de l'année 1990, d'autres acteurs interviennent dans le suivi de l'évolution des peuplements coralliens. Ainsi en 1994, l'association "Vie Océane" a entrepris le suivi régulier d'un site de la pente externe sur la base de photographies de quadrats.

En 1998, un réseau régional de surveillance des récifs coralliens, qui constitue une partie du réseau mondial de surveillance des récifs coralliens (GCRMN), a été mis en place dans le cadre du programme environnement de la Commission de l'Océan Indien (PRE-COI/UE¹). Depuis, il est toujours opérationnel. Les sites choisis pour la Réunion se situent dans la zone d'action de l'Association Parc marin et complètent les mesures d'ECOMAR et de Vie Océane. L'ensemble forme un réseau dont le pilotage institutionnel est assuré par la DIREN, en partenariat avec l'ARVAM² (Association pour la recherche et la valorisation marines), ECOMAR et l'Association Parc Marin.

Dans le cadre du SDAGE, la faisabilité technique et financière d'un réseau de surveillance de la qualité globale des milieux marins de la Réunion a été analysée. Depuis 1 an, des mesures de qualité des eaux marines sont régulièrement effectuées dans le cadre du Réseau National de Surveillance pilotée par l'Ifremer (RNO). Le travail est effectué par l'ARVAM sur financement de la DIREN.

Hormis l'état de santé des récifs et la qualité des eaux, le risque écotoxicologique fait partie des priorités définies à la Réunion³. De 1993 à 1996 un suivi-monitoring de fréquence hebdomadaire des espèces de dinoflagellés "nuisibles" a été réalisé par l'ARVAM sur le récif de Saint-Leu ville. Ce programme avait pour but de caractériser l'assemblage des 13 espèces de dinoflagellés présentes et d'appréhender les phénomènes environnementaux qui conduisent à une prolifération durable de ces populations, afin de prévenir tout risque de contamination des poissons et de leurs consommateurs humains.

En 1997, un réseau régional ECOTOX a été créé dans le cadre du PRE-COI/UE. Depuis, de nombreuses actions ont été menées à bien et/ou initiées en écotoxicologie marine à la Réunion. Elles couvrent trois thèmes principaux : l'épidémiologie, l'hygiène alimentaire, la qualité du milieu. Dans le thème environnement, des programmes " PPF-CORDET " ont "été" initiés en 2000. Ils concernent essentiellement la relation colonisation par les épiphytes et le blanchissement des coraux. D'une durée de trois ans, ces programmes constituent la contrepartie Réunion à l'action VIGITOX (cette action permet de tester la réponse d'urgence à une aggravation du risque d'écotoxicité par consommation d'animaux marins).

¹ Programme Régional Environnement de la Commission de l'Océan Indien.

² Cette association loi 1901 était responsable du suivi de l'état des récifs de La Réunion dans le cadre du PRE/COI. Son rôle dans la formation des écogardes au suivi de l'état de santé des récifs a également été essentiel. L'ARVAM intervient sur des expertises ponctuelles concernant le milieu récifal et l'écotoxicologie. Elle va également participer à l'étude de l'Etat zéro de la réserve marine.

³ La ciguatera est un syndrome courant à La Réunion. Entre 1986 et 1994, 477 cas individuels ont été recensés, soit 60 cas/an (Quod et Turquet, 1996).

Les résultats

Les premières études entreprises sur les récifs de la Réunion à la fin des années soixante rapportent des peuplements diversifiés et luxuriants (Bouchon, 1978 ; Ribes, 1978). Mais les récifs de la Réunion sont d'autant plus vulnérables aux agressions naturelles et humaines, qu'ils sont jeunes et peu étendus. Les signes de dégradation significative de l'écosystème, en particulier sur les platiers, datent du début des années 80. Il s'agit

- d'une mortalité corallienne de grande ampleur, notamment chez les coraux branchus,
- d'une inhibition dans la calcification corallienne, menaçant la construction même du récif,
- d'une diminution de la richesse et de la diversité spécifique corallienne,
- d'un développement important des algues molles,
- d'une modification des peuplements d'oursins, avec la raréfaction des individus dans les zones enrichies en sels nutritifs,
- d'une diminution régulière de l'abondance et de la diversité des peuplements de poissons sur l'ensemble des platiers récifaux (Letourneur, 1997).

En 1997, O. Naim, chercheur au laboratoire ECOMAR, considérait ainsi que 50 % des platiers récifaux réunionnais étaient perturbés et 28 % fortement dégradés. De manière concomitante, des signes d'une érosion préoccupante des plages étaient observés (Mespoulhé et Troadec, 1994) :

- amaigrissement des plages coralliennes,
- recul du trait de côte et déchaussement des filaos composant la lisière de la forêt littorale.

La sédimentation terrigène et la pollution des eaux récifales, à la fois par les rejets domestiques et les activités agricoles et industrielles, constituent des problèmes majeurs pour les récifs de la Réunion. On estime la quantité de matériaux perdue à la mer à 3 000 tonnes/km²/an, soit un décapage moyen de 1mm/an, ce qui situerait la Réunion parmi les régions du globe où l'érosion est la plus active (Charte de l'Environnement). Cette érosion naturelle est fortement renforcée par les activités humaines, en particulier la déforestation et les cultures maraîchères et fruitières. Les défrichements s'effectuent trop souvent avec des engins lourds et sur des pentes trop fortes, sans respecter les courbes de niveau, avec un découpage du parcellaire non adapté qui favorise l'érosion. Les matériaux sédimentaires, transportés par les ravines et le réseau pluvial, se déversent sur les récifs et provoquent, particulièrement en période cyclonique, une forte augmentation de la sédimentation fine, néfaste aux coraux.

Certaines sources de pollution comme les rejets industriels en zone littorale, les extractions de matériaux dans les rivières et surtout les traitements agricoles (produits phytosanitaires, engrais) en amont des récifs, sont toujours mal connues. Aucune étude n'a jamais été réalisée d'une part en aval, pour mesurer la teneur de ces produits chimiques dans les eaux, d'autre part en amont pour tenter de quantifier les sources. On estime néanmoins que les volumes d'eaux polluées atteignant les récifs ont fortement augmenté ces dernières années avec d'une part l'accroissement de la consommation d'eau et la multiplication des rejets d'eaux usées, les stations d'épuration existantes étant saturées et fonctionnant mal, d'autre part l'urbanisation en front de mer et sur les bassins versants, l'imperméabilisation des sols étant à l'origine de l'accroissement des volumes d'eaux pluviales ruisselées. Parallèlement, les trajets naturels d'évacuation des eaux pluviales et des crues cycloniques ont été bouleversés; des buses d'écoulement implantées en dehors des débouchés naturels des ravines déversent directement les eaux polluées dans les zones d'arrière récif (hormis pour La Saline).

Les études du laboratoire d'écologie marine (ECOMAR) de l'université de la Réunion ont mis en évidence l'importance de l'impact de ces eaux douces polluées qui arrivent dans les lagons soit directement, au niveau des buses d'écoulement, soit indirectement, avec les eaux souterraines, issues de la nappe phréatique, qui percolent en bas des plages lors des basses marées et en milieu récifal (La Saline, Etang-Salé). Toutes ces eaux douces enrichies en azote et phosphore sont responsables d'un fort risque d'eutrophisation des eaux récifales et des profondes modifications intervenues sur les récifs. Par ailleurs, les phosphates seraient à l'origine d'une inhibition dans la calcification corallienne, menaçant donc la construction même du récif.

Les rejets des complexes sucriers (sucreries, distilleries) sont caractérisés par de très fortes charges en matières organiques et minérales. L'impact de ces rejets sur les écosystèmes récifaux (peuplements, biodiversité) est important. Ainsi le rejet en mer des vinasses de l'usine du Gol a été tenu pour responsable de la dégradation du platier externe de l'Etang-Salé en 1986 (Cuet, 1997). Les rejets de la ferme à tortues ont également été tenus en partie pour responsables de la dégradation du récif de Saint-Leu.

2.2. Conditions d'initialisation du processus GIZC à la Réunion

En 1997, sept communes (St Paul, Trois Bassins, Saint Leu, Etang Salé, St Pierre, St Louis, Petite île) ont accepté d'adhérer à l'association « parc marin » (APMR) pour promouvoir la protection des récifs coralliens de la Réunion, fixant de fait la zone géographique couverte par le parc marin, qui regroupe l'essentiel du milieu corallien de l'île.

La création du parc marin de la Réunion s'inscrit dans le cadre du SMVM et normalement ses objectifs devraient être pris en considération dans les PLU des 7 communes le composant. A cet égard, il est important de noter la différence d'échelle entre les documents d'urbanisme commandités par la Région : SAR et SMVM qui sont établis au 1/100 000 et les PLU qui requièrent des échelles de 1/5000 ou 1/10 000 pour l'action. Il existe donc un besoin urgent de réalisation de documents directeurs d'urbanisme à une échelle plus fine, en adéquation avec les PLU. Les SCOT remplissent en partie ce rôle. Dans le domaine littoral, le plan de gestion de la future réserve nationale marine, structure qui remplacera en 2006 le parc marin pourrait également assurer cette fonction.

2.2.1. Acteurs et mécanismes institutionnels

Cinq acteurs institutionnels possédant chacun un domaine de compétence en matière d'environnement peuvent être identifiés :

- l'Etat, représenté dans le domaine de l'environnement par la DIREN ;
- la Région et le Département, qui tous deux ont compétence en matière d'environnement ;
- les EPCI (Etablissements publics de coopération intercommunale) ;
- la société civile, qui joue un rôle important en tant que force de proposition mais aussi en tant que force d'opposition ;
- les communes, qui doivent notamment appliquer à l'échelle locale les directives et orientations prises par la Région et l'Etat en matière d'urbanisme et de protection de la nature en mettant en conformité leur PLU avec celles-ci. Jusqu'à une date récente, la taille très élevée des communes réunionnaises n'incitait guère les maires à la coopération intercommunale.

La création des EPCI a conduit à une nette amélioration de cette situation. Progressivement,

les services techniques des communes ont appris à travailler ensemble et à dépasser le cadre strictement communal pour réfléchir à un futur commun à bâtir. Toutefois, il arrive encore que les relations entre les élus de communes différentes soient plus marquées par le souci d'indépendance, voire la concurrence et l'hostilité, plutôt que par la volonté de coopération inter-institutionnelle. Si d'une manière générale, la coopération inter-communale au sein d'un EPCI s'est indéniablement améliorée, en revanche, le dialogue entre communes relevant d'EPCI voisins semble s'être détérioré et il devient de plus en plus difficile d'envisager des unités de gestion du littoral qui intègrent toutes les communes d'un EPCI plus quelques communes des EPCI avoisinants.

L'expression « Société civile » recouvre une grande diversité d'acteurs. En ce qui concerne le milieu récifal, ce sont principalement les scientifiques et les ONG de protection de la nature qui ont joué un rôle essentiel de force de proposition.

Les premiers ont agi comme lanceurs d'alerte vis à vis des pouvoirs publics dès la fin des années 1970 (Bouchon, 1978 ; Ribes, 1978 ; Faure, 1982 ; Guillaume *et al.*, 1983), mettant l'accent sur la dégradation du milieu récifal. Ils ont apporté une contribution essentielle au « Livre blanc de l'environnement » (anonyme, 1982)⁴. Depuis, les études du laboratoire d'écologie marine de l'université de la Réunion, qui depuis la création de cette dernière dans les années soixante-dix jouit d'une notoriété indéniable dans l'île et dans la région, servent de « terreau » aux réflexions des pouvoirs publics et des ONG sur les liens entre les activités anthropiques et les dégradations récifales, mais le travail reste de nature académique.

Ce sont les ONG environnementales, notamment la SREPEN (Société REunionnaise de Protection de l'Environnement) et « Vie Océane », spécifiquement dédiée à la conservation du milieu marin, qui depuis le milieu des années 1980 ont repris le « flambeau » des scientifiques lanceurs d'alerte. Celles-ci œuvrent principalement vis à vis de l'opinion publique pour lui faire prendre conscience des problèmes auxquels est confronté le lagon de la Réunion. Considérant comme insuffisantes les mesures prises par les pouvoirs publics pour assurer la protection du milieu récifal⁵, elles vont également jouer un rôle essentiel pour promouvoir l'idée de la création d'une aire marine protégée, englobant l'ensemble du milieu récifal de l'île.

Les liens étroits entre secteur associatif et milieu scientifique sont patents à travers deux processus :

- d'une part la faculté qu'a le premier de susciter l'intérêt puis l'intervention du second,
- d'autre part la possibilité qu'a le scientifique de prolonger ses travaux dans l'action par un « militantisme écologique » ou tout simplement de susciter l'intervention des ONG. Ainsi « Vie Océane » est majoritairement composée de scientifiques et

⁴ Ce livre blanc résulte des réflexions menées dans le cadre des Etats généraux de l'environnement de La Réunion, déclinaison locale des Etats généraux de l'environnement que l'Etat a diligenté dans l'ensemble des régions afin de dresser à l'usage des députés et des sénateurs un bilan environnemental de la France.

⁵ Les premières mesures visant à réguler la pression anthropique sur le milieu récifal datent de 1969 et 1976. Le 9 juin 1969, l'arrêté préfectoral n° I. 486 DAG-I notifie l'interdiction de tout prélèvement de corail dans le lagon de La Réunion, mettant ainsi fin à la production de chaux d'origine corallienne. Le geste est surtout symbolique : cette production est en effet une activité moribonde (Tergemina, 1999) et interdire l'extraction du corail ne fait que consacrer cette évolution. En revanche, les arrêtés des 25 mai et 21 juin 1976 constituent un véritable acte de gestion. Le premier interdit la chasse sous-marine sur l'ensemble de l'île 3 mois par an (du 1^{er} octobre au 1^{er} janvier). Il constitue une réponse aux conflits de plus en plus fréquents entre les chasseurs sous-marins et les « petits pêcheurs » du lagon qui s'offusquent des rendements des chasseurs, comparés aux leurs. Mais faute de réelle volonté politique de se confronter au « lobby » des chasseurs sous-marins, le braconnage va se généraliser et ne sera guère réprimé. Le second arrêté vise à réglementer tous les types de pêche côtière et instaure des réserves de pêche tournante pour limiter la pression halieutique. Toutefois en l'absence de plan de gestion de ces réserves et de personnel pour contrôler l'interdiction de pêcher, cet arrêté préfectoral, comme le premier, sera inefficace.

d'enseignants, dont la plupart des universitaires réunionnais travaillant sur le milieu corallien.

Eveillé par cette sensibilisation émanant à la fois des scientifiques et des ONG, le Conseil Régional va se lancer dans une réflexion pour réduire la pression anthropique sur le récif. Celle-ci aboutit

- a) à la construction d'un réseau de collecte des eaux usées sur l'ensemble des communes du littoral occidental de la Réunion et de 4 stations d'épuration,
- b) à la mise en place d'une campagne de sensibilisation des usagers du lagon,
- c) à une étude de faisabilité pour la mise en place d'un parc marin (Gabrié, 1989).

Cette dernière met l'accent sur la conservation du milieu corallien ainsi que sur ses ressources. Elle va servir de révélateur à un antagonisme grandissant entre la valorisation économique du milieu récifal de la Réunion et sa protection, qui oppose les scientifiques militants, ayant investi le terrain associatif, aux opérateurs touristiques, aux institutions qui les représentent, aux chasseurs sous-marins ainsi qu'aux pêcheurs informels du lagon. Partisans du développement plutôt que de la conservation, de nombreux élus communaux font pression pour qu'aucune suite ne soit donnée à cette étude de faisabilité. Pour sa part, la Région réfute cette opposition entre le développement économique et la préservation de l'environnement qu'elle s'efforce de concilier via les schémas de planification territoriale que sont le SAR et le SMVM. Quant à l'Etat, son rôle dans la gestion du littoral réunionnais est indirect mais néanmoins essentiel, via le cadre législatif qui est donné à cette gestion avec la loi « littoral » de 1986. Cet antagonisme va conduire la Région et la sous-Préfecture de Saint-Paul à organiser en décembre 1991 un colloque intitulé « Protection des lagons ». Ouvert à l'ensemble des acteurs du littoral, il leur permet de prendre connaissance des dangers qui menacent les récifs de la Réunion (en ce sens les similitudes avec les Etats généraux de l'environnement dix ans auparavant sont grandes) et de débattre des solutions pour réduire ces menaces (Thiaville, 1992). C'est à l'issue de ce colloque, qu'est prise la décision de créer une aire marine protégée englobant les 25 km de littoral corallien de l'île, entérinant ainsi une des principales recommandations faites dans le cadre de la commission « le lagon : les activités économiques et de détente ».

Afin d'accompagner le processus de création du parc « une étude concertée à caractère scientifique, économique et juridique en vue de la création d'un parc marin sur les lagons et de la mise en oeuvre d'une structure opérationnelle de gestion » est confiée à cet effet au BCOM et à l'IARE. Un comité de pilotage d'une cinquantaine de membres est constitué, regroupant des élus, des scientifiques, des juristes, des responsables du monde socio-professionnel. Ce comité a pour objectif de définir les contours d'un consensus institutionnel quant à la création de ce parc. Il est appuyé par un groupe technique chargé de répondre aux questions que le comité de pilotage soulève. Au total, une soixantaine de réunions seront nécessaires de 1994 à 1997 avant d'aboutir à la création le 19 juillet d'une association du type loi 1901 intitulée « parc marin » qui vaut comme organe de gestion de la future réserve.

Malgré la décision de créer un parc marin à la Réunion, de nombreux acteurs du littoral persistent à concevoir la protection du milieu récifal et le développement économique en termes d'antagonisme, mais leur activisme en tant que force d'opposition au parc marin s'est réduit. En revanche, de nouveaux opposants sont apparus : il s'agit des petits pêcheurs du lagon. Ceux-ci fondent leur refus du parc marin sur des critères culturels et économiques et revendiquent le droit de pêcher sur le récif pour maintenir un genre de vie hérité de leurs ancêtres. Du fait de leur statut informel, ils n'ont pas été invités lors des discussions préalables à la mise en place de l'association « parc marin ». Pour être plus lisibles, ces pêcheurs, qui se présentent comme les pêcheurs traditionnels, se sont structurés en

associations loi 1901 pour faire entendre leur point de vue dans le débat concernant la protection du milieu récifal.

Dans une île comme la Réunion, marquée par des problèmes de transport routier et de concentrations urbaines dans « les bas » qui segmentent l'espace et une forte différenciation sociale et/ou ethnique, tout groupe, même s'il compte un nombre réduit de membres, a la capacité de perturber l'ordre public et le bon déroulement de l'activité économique. Le risque de contagion de mécontentements locaux à des ensembles plus vastes constitue une des préoccupations majeures du Préfet et une des données principales du jeu social et politique dans l'île. Dans ce contexte, l'activisme de ces petits pêcheurs du lagon s'est révélé « payant » et ceux-ci sont désormais reconnus comme constituant la frange la plus active de la société civile en tant que force d'opposition au processus de création d'une AMP et, par « régression », au processus de GIZC puisque depuis une trentaine d'année toute la gestion intégrée des zones côtières est polarisée à la Réunion par la question de la préservation du milieu récifal

2.2.2. Le processus de création d'une Aire Marine Protégée sur la zone récifale

Quatre étapes sont à considérer pour analyser les logiques des acteurs en présence (tableau 2): la période de 1994 à 1998 qui voit la mise en place de l'association « Parc marin », la période 1999-2001 qui correspond au début du processus de création d'une réserve naturelle de statut national avec la montée des oppositions, la période 2002-2004 qui devait marquer l'achèvement de ce processus de création avec l'apaisement des tensions, la période fin 2004-fin 2005 qui apporte de nouvelles interrogations et une reprise de la contestation locale mais aussi un début d'attention porté aux relations entre le littoral et les bassins versants en amont comme le résume le tableau ci-dessous.

Tableau 2 – Tableau synoptique de l’historique de la Gestion intégrée des zones côtières à la Réunion

	Période des Lanceurs d’alerte (70-80)	Emergence de la gestion du lagon par une AMP (80-90)	Parc Marin et émergence GIZC (91-2000)	Du Parc à la Réserve Naturelle (2000-2005)	Vers une prise en compte des liens BV-Littoral (2004-2005)
Espace considéré	Lagon = espace fermé ;	- Lagon = support d’activités économiques avec l’émergence du secteur tourisme ; - Lagon = espace à protéger et fragilité halieutique	- Zone littorale= zone de croissance urbaine (arrivée métropolitains); - Récif = objet scientifique ; - Lagon = protection ;	- Lagon = espace soumis à zonage mais peu de connaissance sur milieu halieutique du lagon ; - Récif = objet d’initiatives nationales IFRECOR/ ICCRI	Bassin versant et littoral
Etat des lieux et discordance entre acteurs	- valeur patrimoniale du lagon et intérêt des seuls scientifiques pour le lagon - ressource pour agriculteurs (chaux) avant arrêt de cette activité	- Début de relais institutionnel vers AMP mais problème de connaissance sur fonctionnement de l’écosystème corallien - Qualité des plages mise en avant pour tourisme mais calibration du sable abandonnée. - Implication des scientifiques dans les ONG environnementales - Lancement d’une étude de faisabilité AMP mais point mort en 1989	Consensus apparent pour le Parc	Pas d’implication des politiques en relais à l’IFRECOR - Echec à posteriori de la concertation ayant abouti au Parc - Conflits avec les pêcheurs sur choix de site à préserver ou réglementer dans le projet de future réserve naturelle - statut de la pêche = Recensement des pêcheurs pour attribution du droit de pêche des capucins nains et reconversion des petits pêcheurs ; - comité de sages pour l’avenir de la réserve. - zonage du parc et pb posés	La mise en réserve du récif est elle une condition nécessaire et suffisante à sa survie Prise en compte de la vulnérabilité du littoral récifal aux dynamiques naturelles en amont et aux activités sur les bassins versants - Dispositifs réglementaires (type SAGE) : concertation pour l’eau et création de territoires (ne se superpose pas au territoire littoral)
Dispositifs institutionnels	- Arrêté préfectoral classant le lagon comme réserve de pêche		- Concertation menée sur projet de parc Marin - Création en 1997 de l’association Parc marin de la Réunion (APMR)	- Recensement des pêcheurs pour attribution du droit de pêche des capucins nains et reconversion des petits pêcheurs ; - comité de sages pour l’avenir de la réserve. - zonage du parc et pb posés	- DDAF : Etude BV
Echelle d’organisation des actions	lagon	articulation : - local : lagon/pêche artisanale - national : politiques sociales / conservation de la nature (loi littoral-Conservatoire) - Europe : qualité de l’eau, épuration, financement	Via l’AMP, rencontre - Etat + Région ; Projet de Parc - Communes + départements = attentisme - Europe - Océan Indien : Projet PRE-COI ; la Réunion comme site pilote	convergence des processus : - nationaux : IFRECOR, rôle de la DIREN - internationaux : ICCRI, COI	- Europe : incitation mise en place politique nationale de GIZC - Etat : appel à proposition GIZC de la DATAR - fin du processus de création de la réserve marine - Région via l’APMR - TCO via l’élaboration du SCOT Ouest
		Région comme acteur central	La Région comme acteur central	L’Etat acteur central, Région s’efface	

La période 1994-1998 : mise en place de l'association « Parc Marin »

Le moteur de l'action est le conseil régional qui impulse l'étude de faisabilité et la création de l'association parc marin et lui donne les moyens de fonctionner. Cette forte implication se traduit par le fait qu'un des vice-présidents de la Région Réunion prend la présidence de « l'association Parc Marin ».

L'association Vie Océane est également un interlocuteur important à travers la pression médiatique qu'elle exerce pour la préservation du lagon.

Le Département est un acteur secondaire qui a laissé l'initiative du processus à la Région.

L'Etat, via la DIREN, est également un acteur secondaire, car le milieu récifal n'est pas une de ces préoccupations prioritaires. Après les 60 réunions du comité de pilotage qui ont largement sensibilisé les élus communaux sur l'intérêt du parc, ceux-ci suivront la démarche, hormis les communes de St Pierre et de Petite Ile qui refusent d'intégrer l'association parc marin.

A ce stade il n'y a pas de véritable opposition au parc marin et la concertation qui a été menée a permis d'obtenir un consensus apparent, à telle enseigne qu'en 1997, les experts du PRE-COI/UE écrivaient “ *Nulle part ailleurs dans la région COI, les discussions entre les élus, l'administration, les différents comités d'usagers, les scientifiques et les Organisations non gouvernementales n'ont été aussi intenses. En ce sens, l'expérience réunionnaise est unique et a valeur de modèle pour l'ensemble des pays de la COI. Elle a contribué à mettre en lumière des besoins nouveaux en matière de médiation entre le public et les pouvoirs publics, entre le privé et le collectif, entre le particulier et le général, entre l'écologie et l'économie. Ces besoins n'ont pas encore reçu leur traduction en termes de profession ; un nouveau métier est à créer : médiateur de l'environnement ou du patrimoine naturel. Sa tâche est de faire se rapprocher le légal et le légitime en favorisant le dialogue entre tous les acteurs de la scène environnementale. Le dialogue doit également descendre à l'échelon du public qui ne respectera la réglementation du parc que s'il est correctement informé et sensibilisé : ce sera le travail des agents de veille écologique qui seront au service de la nature pour la faire respecter mais aussi au service des usagers du parc et du public occasionnel via l'information et la sensibilisation qu'ils assureront auprès d'eux* ” (David et Razafindrabé, 1997).

La période 1999-2001 : processus de création d'une réserve naturelle

Cette période est marquée par l'irruption de l'Etat comme acteur principal du processus de mise en réserve. C'est en effet la DIREN qui va promouvoir l'idée de classer le milieu récifal de la Réunion en réserve nationale marine et se charger du dossier de création de la dite réserve. Cette montée en puissance de la DIREN dans le processus de GIZC s'explique par la conjonction de plusieurs facteurs.

Il s'agit d'abord de facteurs externes.

1) De 1997 à 1999 la mise en place du parc marin de la Réunion est présentée par les autorités réunionnaises et l'Etat comme la principale participation de la Réunion au Programme Régional Environnement de la Commission de l'Océan Indien dans le cadre duquel cette mise en place a valeur d'opération pilote. Ce statut va conduire la DIREN à participer en 1998 et 1999 aux ateliers récifs et aires marines protégées du PRE-COI et à s'y impliquer activement.

2) En 1999, la France prend le secrétariat de l'ICRI (International Coral Reef Initiative) pour une durée de 2 ans, dans la foulée le Ministère de l'environnement lance l'initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR).

3) Le même ministère décide de "normaliser" le statut de plusieurs réserves en leur octroyant le statut national de "réserves naturelles".

Ces facteurs externes trouvent leur traduction locale dans la mise en place d'un chargé du milieu marin à la DIREN qui a notamment pour objectifs :

a) de faire émerger une stratégie régionale IFRECOR dont la compilation avec les autres stratégies régionales composera la stratégie nationale.

b) de piloter cette stratégie en terme financier, notamment à travers les contrats de plan "Etat / Région".

L'autre élément marquant de la période est la montée en puissance de la contestation des "pêcheurs informels du lagon" qui se sentent exclus du processus de décision concernant la réserve⁶ et sont souvent présentés comme des boucs émissaires en ce qui concerne la pression anthropique sur le lagon. Cette contestation n'est pas encore relayée au niveau politique, mais on note des interrogations nouvelles chez les élus communaux quant à l'opportunité d'adhérer au projet de réserve.

La période 2002-2004 : du Parc à la Réserve

Cette période est marquée par une nette diminution des tensions entre les porteurs du projet de la réserve marine de la Réunion et les pêcheurs informels. Cette amélioration des rapports entre ces deux groupes est à mettre au crédit de la DIREN qui a initié deux actions importantes :

- d'une part, un programme de reconversion professionnelle des pêcheurs informels qui bénéficie d'un financement européen via la Mission d'Insertion de l'ouest de la Réunion ;
- d'autre part, la constitution d'un groupe de trois « sages », chargés d'examiner les propositions de zonage dans la future réserve émanant des différents acteurs (scientifiques, pêcheurs, opérateurs touristiques notamment). Le point de vue des pêcheurs a largement été entendu et pris en compte dans le tracé définitif de la future réserve.

En juin 2004, le premier comité de pilotage de la future réserve est organisé à la Préfecture de la Réunion sous l'égide du Préfet de Région et de la DIREN. Rassemblant les représentants des principaux organismes et associations d'utilisateurs concernés par le projet de réserve, ce comité clôt la phase de concertation menée à la Réunion et entérine la création de la réserve.

La seconde phase du processus de mise en place de la réserve est lancée : l'instruction du projet par le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable peut commencer. De manière concomitante, l'association parc marin, et plus précisément son conseil scientifique, entame la planification de l'état Zéro écologique et socio-économique de l'espace couvert par la future réserve.

Le chantier Réunion d'AGIL démarre également, avec la volonté de faire partager le point de vue selon lequel, dans une île haute à la pluviométrie marquée comme la Réunion, la mise en

⁶ Du fait de leur statut informel, les petits pêcheurs du lagon n'ont pas été invités lors des discussions préalables à la mise en place de l'association « parc marin ». Pour être plus lisibles, ces pêcheurs, qui se présentent comme les pêcheurs traditionnels se sont structurés en associations loi 1901 pour faire entendre leur point de vue dans le débat concernant la protection du milieu récifal.

place d'une politique de GIZC efficace ne doit pas se limiter à la création d'une aire marine protégée mais doit aller de paire avec une approche intégrée bassin versant/littoral.

La période 2004-2005 : le retour des incertitudes

Si le futur de la réserve s'éclaircit, en revanche l'avenir de l'Association Parc marin reste sujet à une interrogation majeure : le statut de syndicat mixte qui avait été prévu dès 1997 va-t-il être accepté par les autorités locales ? En effet, le statut associatif est jugé par l'AMPR comme inadapté aux nouvelles fonctions qui lui seront dévolues en tant qu'organisme gestionnaire de la nouvelle réserve. Sans changement de statut, l'APMR peut-elle être retenue pour assurer cette gestion ? Récurrente depuis plusieurs années, cette question va prendre une nouvelle dimension avec l'imminence de la création de la réserve, et la défection d'acteurs principaux de la GIZC Réunionnaise. Ainsi la fin 2004 et le début 2005 voient les départs successifs de la directrice scientifique puis du directeur de l'association parc marin. Ce dernier va être rapidement remplacé mais la vacance prolongée du poste de directeur scientifique fragilise l'APMR d'autant que le futur du statut reste en suspens.

A cette fragilisation de l'APMR va se conjuguer la fragilisation de la DIREN que la chargée de l'environnement marin quitte en mai 2005 sans être remplacée jusqu'en octobre. Cette vacance de l'administration sur un sujet aussi sensible pour les élus locaux que la future réserve marine se solde par un regain de l'opposition concernant le projet de réserve. A l'évidence, cette évolution montre le rôle clef joué par les individus dans les structures agissant comme moteur du processus de GIZC à la Réunion et la vulnérabilité de ce processus vis à vis du « fait humain ».

3. DÉMARCHE AGIL

Réparties sur trois territoires que sont le bassin versant, le récif et l'océan, le chantier AGIL se structure à la Réunion autour de cinq thématiques.

- Sur le bassin versant : il s'agit du suivi des modes d'occupation du sol, et de la vulnérabilité des versants à l'érosion pluviale et au ruissellement.
- Sur le récif : il s'agit d'une part de la dynamique du trait de côte et de la bathymétrie des petits fonds dans le lagon de la Réunion ; d'autre part de la cartographie de la vitalité récifale.
- Sur l'océan : il s'agit du suivi de la dynamique océanique : température et couleur de l'eau.

Ces thèmes ont été définis à dire d'experts selon les connaissances que les membres du Consortium AGIL avait de la Réunion et de son littoral puis validés en avril 2004 en début de chantier auprès des partenaires locaux : chacun d'eux a fait l'objet d'une fiche de faisabilité, qualifiée de fiche-cas.

3.1. Les processus étudiés

Des schémas ont été réalisés pour caractériser les processus en jeu suivant le cadre d'analyse.

Il s'agissait :

- d'identifier les objets géographiques concernés (lagon/récif, réseau hydrologique, espace agricole productif, espaces naturels terrestres et agricoles non productifs, espaces bâtis) et les facteurs biotiques et abiotiques,
- de rendre compte des interactions entre ces paramètres et les activités humaines, et les effets sur le récif, comme l'illustre la figure 3.

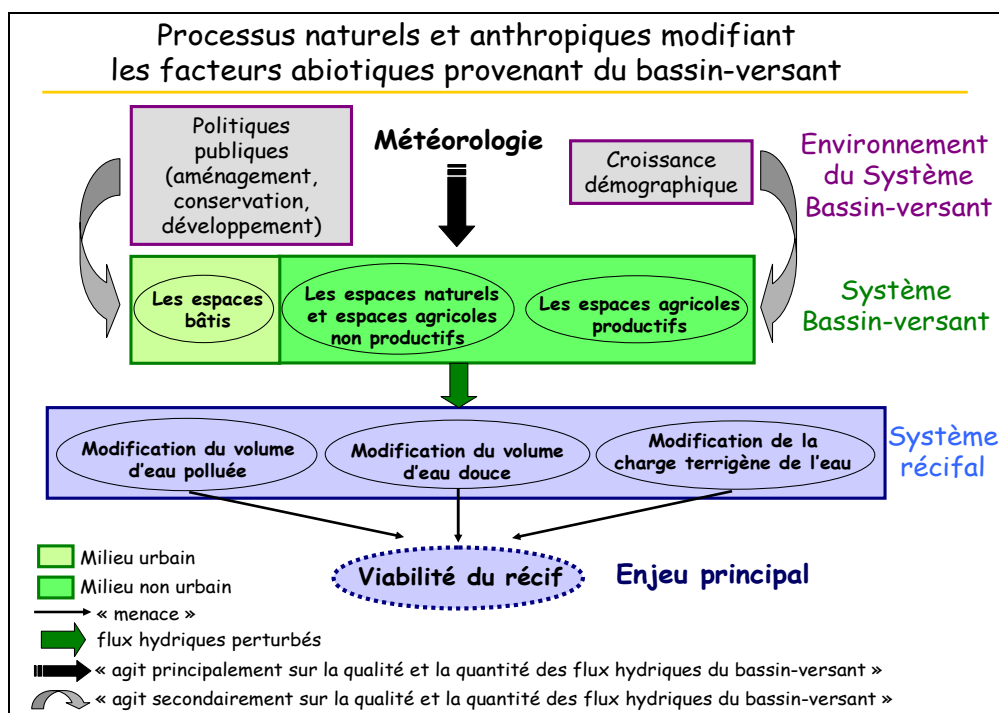


Figure 3 - Exemple de schéma présentant les interrelations bassin versant / littoral

D'autres analyses visaient à caractériser plus directement une répartition spatiale des enjeux liés aux impacts sur le littoral, basées sur des objets spatiaux du complexe bassin versant / littoral à analyser au travers d'AGIL (tableau 3) :

- enjeux de production de services environnementaux (biodiversité, paysage, assainissement) ;
- enjeux de maîtrise des rejets/pollution ;
- Enjeux de consommation d'espace sans prélèvement de ressources ;
- Enjeux d'usages avec prélèvement.

Dans la démarche AGIL, il était envisagé de confronter ces représentations d'« experts » avec les représentations des acteurs concernés (professionnels, gestionnaires, bureaux d'études chargés des études d'aménagement, usagers du milieu) sur les processus en jeu ayant un impact sur le milieu récifal, dans l'objectif :

- d'identifier les représentations de ces acteurs sur les interactions entre bassin versant et littoral et les enjeux liés;
- de contribuer à la définition d'objets spatiaux et indicateurs du point de vue des acteurs locaux, pour enrichir les traitements des données spatiales au cours d'AGIL.

Cette démarche de construction collective n'a pu être menée. En effet, le problème s'est posé quant à la pertinence de l'organisation de fora AGIL alors que de nombreux espaces de

concertation existent par ailleurs à la Réunion et mobilisent fortement les utilisateurs potentiels que nous avons identifiés. L'insertion dans des fora existants n'a pu se faire dans la durée du projet, soit pour des raisons de délai de mise en oeuvre de ces fora (exemple des fora prévus dans le cadre du Comité Economique et Social de la Réunion), soit pour des raisons d'objets trop éloignés de la GIZC (fora liés au projet de basculement des eaux).

Tableau 3 - Les activités, leurs impacts et leurs enjeux sur le littoral et les bassins versants

MILIEU	LITTORAL			BASSIN VERSANT		RESEAUX HYDROLOGIQUES
OBJET GEOGRAPHIQUE	LAGON	PLAGE / ARRIERE PLAGE	BATI MILIEU URBAIN	MILIEU AGRICOLE PATURAGE/ CULTURE	MILIEU FORESTIER	
Principales activités	<ul style="list-style-type: none"> • Pêche (à pied, au capucin) • Tourisme (baignade, surf, « visio-bulle », sentier sous-marin) • Conservation • Recherche 	<ul style="list-style-type: none"> • Tourisme (plagiste, vente ambulante, restaurateurs, touristes balnéaires) • Transport • Habitat résidentiel • Parapente zone atterrissage) 	<ul style="list-style-type: none"> • Habitat résidentiel • Industrie • Tourisme (infrastructure : hôtel, restaurant, magasins) • Commerces • Transport • Assainissement • Autre services • Agriculture périurbaine • Plaisance 	<ul style="list-style-type: none"> • Canne • Elevage de la zone moyenne, pâture clôturée d'embouche • Polyculture -élevage • Vivrier • Agro-tourisme, Tourisme vert • Parapente (décollage) 	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation forestière (cryptoméria) • Tourisme • Sylvopastoralisme (Elevage des hauts divagants) • Conservation • Tisanage 	<ul style="list-style-type: none"> • Carrière (associées aux cônes de déjection) • Assainissement • Tourisme (Canyoning) • Retenues collinaires • irrigation
Types d'impacts associés enjeux	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise territoriale ou usage sans prélèvement de ressource (E) • Rejet – puits (R) • Prélèvement (P) (poissons, coquillages) • Production d'aménités ou services environnementaux (paysage, biodiversité, plage) 	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise foncière • Prélèvement (coraux ; Eau) 	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise foncière et consommation sans prélèvement (paysage) • Rejet – source (eaux usées, herbicide / pesticide, ordures ménagères) • Prélèvement (eau) 	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise • Prélèvement (eau, foncier) • Production d'aménités ou services environnementaux (paysage, biodiversité maintien sol contre érosion) 	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise • Prélèvement (bois, sylviculture tisanage) 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'espace (ravines) • Rejets • Prélèvement (eau, matériaux)

Néanmoins, cette étape était essentielle pour la mise en oeuvre d'études préalables aux processus GIZC. En effet, les enquêtes « utilisateurs » qui ont eu lieu à l'issue du projet pour présenter les produits AGIL réalisés et vérifier leur intérêt pour des utilisateurs potentiels ont montré l'intérêt d'une construction commune préalable et d'un partage de savoirs relatifs aux enjeux de la GIZC entre acteurs et scientifiques.

3.2. Les produits AGIL

Les cartes d'occupation des sols sont la base cartographique de nombreux indicateurs, modèle ou simples analyses spatiales nécessaires à l'étude des relations bassin versant / récifs et sont donc au cœur du système d'information mis en place par le consortium AGIL. Dans un cadre plus large, ces cartes sont indispensables aux acteurs de l'aménagement du territoire et servent d'information géographique de référence pour l'ensemble des documents réglementaires que sont le SAR, les SCOT, les PLU ainsi que les SAGE.

Dans le cadre du chantier Réunion, le consortium (en particulier IRD, CIRAD et SCOT) a déployé d'importants moyens pour fournir des cartes d'occupation des sols pertinentes à partir d'images Spot 5 à très haute résolution que ce soit à l'échelle du bassin versant du récif de Saint Gilles / La Saline ou à l'échelle de l'ensemble de l'île. La dynamique de l'occupation des sols sur l'ensemble de l'île a également été cartographiée avec des images Spot classiques à 20 m. Ces informations sont d'autant plus attendues à la Réunion que l'IGN s'est retiré en 2002 de l'actualisation des informations relatives à l'occupation des sols dans la prochaine BD Topo. La récente disponibilité d'images satellites commerciales à très haute résolution a obligé les équipes de traitement d'image du consortium à revoir entièrement les méthodes d'extraction de l'information sur les nouvelles images. Les équipes se sont mobilisées en partenariat pour mettre au point des chaînes des traitements basées sur l'analyse d'image orientée objet qui a donné de très bons résultats et des produits particulièrement innovants. Ces chaînes de traitement ont également été appliquées dans le cadre du chantier Languedoc-Roussillon par SCOT et IFREMER.

Les images Spot utilisées comme base des cartographies proviennent toutes du serveur Isle_Réunion (http://medias.obs-mip.fr/isle_reunion/) initié en 2001 par le CNES⁷ pour développer les applications de la télédétection. Ce serveur de données permet au scientifique d'accéder gratuitement à des séries d'images satellites prétraitées, multi-temporelles et multi-capteurs sur l'ensemble de l'île de la Réunion. Enfin, les cartes d'occupation des sols proposées à l'échelle de l'ensemble de l'île ont été réalisées dans le cadre d'une collaboration avec le projet TEMOS (CIRAD – IRD) auquel le consortium AGIL a largement participé en mettant des équipes à disposition et en proposant un appui méthodologique déterminant.

Les Produits développés par le consortium et appliqués au chantier Réunion se déclinent de la manière suivante :

- Cartographie de l'occupation des sols à très haute résolution (THR)
- Extraction du bâti à partir d'images THR
- Définition et cartographie de la tâche urbaine par télédétection THR
- Suivi de l'évolution des modes d'occupation des sols entre 1989 et 2002

3.2.1. Cartographie de l'occupation des sols à très haute résolution

Thématiques décrites

Les modalités de réalisation d'une carte d'occupation des sols, plus que des moyens techniques mis en œuvre, sont dépendantes des choix thématiques et des objectifs d'applications privilégiés. Dans le cadre du projet AGIL les cartes d'occupation des sols sont réalisées dans le but principal de décrire l'organisation spatiale des bassins versants,

⁷ Département Qualité image du CNES

notamment par la mise en place d'indicateurs, mais également pour intégrer des modèles tels que des modèles d'érosion. Ces cartes ont été conçues avec le souci de servir de base d'information autant pour des questions relatives à des thématiques urbaines, qu'agricoles. En revanche ces cartes ne distinguent pas un grand nombre d'habitats au sein des milieux naturels et sont donc d'une utilité limitée pour des applications liées à la biodiversité ou à la gestion des milieux naturels.

La carte d'occupation des sols à très haute résolution présentée ici a servi de données d'entrée à la carte de vulnérabilité des versants à l'érosion pluviale réalisée par le consortium en collaboration avec l'Association pour la Promotion en milieu Rural (APR). Pour cette application particulière, la nomenclature de la carte a uniquement dû être recodée afin de permettre son utilisation dans le modèle de vulnérabilité du BRGM et de l'APR (Chevalier *et al.* 2001, 2002) ce qui montre l'utilité de la carte réalisée dans ce cadre d'application.

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

Les cartes d'occupation des sols étaient jusqu'à une période très récente réalisées à partir d'image haute résolution (généralement entre 10 et 30 m). Les méthodes privilégiées étaient principalement la photo-interprétation et les classifications pixel à pixel supervisées ou non supervisées.

Deux innovations majeures sont à l'origine des produits d'occupation des sols proposés par le consortium AGIL.

Tout d'abord la disponibilité d'images satellites commerciales à très haute résolution. Cette arrivée récente sur le marché commercial d'images pouvant descendre à des résolutions sub-métriques (Spot 5, Ikonos, Quickbird, OrbView et bientôt ORFEO ...) constitue un tournant majeur puisque ces images étaient réservées dans le passé à des applications militaires. Avec l'amélioration de la résolution géométrique, le nombre de familles d'objets identifiables par télédétection spatiale augmente et finalement les produits réalisables à partir de ce type d'images se rapprochent de ceux proposés à partir de la télédétection aéroportée.

D'autre part, le mode d'extraction semi-automatique utilisé pour réaliser les produits d'occupation des sols est particulièrement innovant en se basant sur les plus récents développements en analyse d'image orientée objet. Ces nouvelles méthodes de traitement d'image (présentées plus explicitement dans la suite de ce rapport) ont permis d'exploiter au mieux la richesse des images à très haute résolution tout en assurant une gestion opérationnelle de la complexité engendrée par ces images.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation

Le produit est livré sous la forme d'une carte d'occupation des sols classique si ce n'est que le nombre de classes est plus élevé que ce que l'on obtient généralement avec des images satellites haute résolution. La qualité du produit est également améliorée puisque l'échelle d'utilisation peut descendre au 1/10 000. Les cartes peuvent être livrées sous format raster ou vecteur et sont géo-référencées. Les cartes livrées sous format raster ont une résolution de 2,5 m. La nomenclature de la carte a été basée sur les résultats de la démarche utilisateur réalisée lors du projet TEMOS en accord avec les utilisateurs de ce type de produits, présents à la Réunion.

Cette nomenclature a été dotée de classes supplémentaires grâce aux développements technologiques propres au consortium et suite à des demandes particulières des utilisateurs (par exemple : identification des maraîchages). La nomenclature finale du produit est constituée des classes suivantes :

canne à sucre	plages	tâche urbaine
forêt des bas	reboisements	vergers, arboriculture, maraîchages
forêt des hauts	savane	végétation de rempart
graviers	savane brûlée	zones humides
pâturages	sols nus	végétation buissonnante

Ces classes correspondent aux types d'occupation des sols présents sur la zone d'étude du bassin versant de Saint Gilles / La Saline et devront être adaptées à chacun des nouveaux cas d'étude. En revanche, cette nomenclature permet d'avoir un aperçu du type d'objets aujourd'hui détectable sur des images Spot 5 en utilisant les méthodes de l'analyse d'image orientée objet. Chaque nouvelle nomenclature de carte d'occupation des sols proposée par le consortium devra être évaluée avec les utilisateurs finaux du produit.

La figure 4 montre la carte d'occupation des sols de la zone AGIL en 2003.

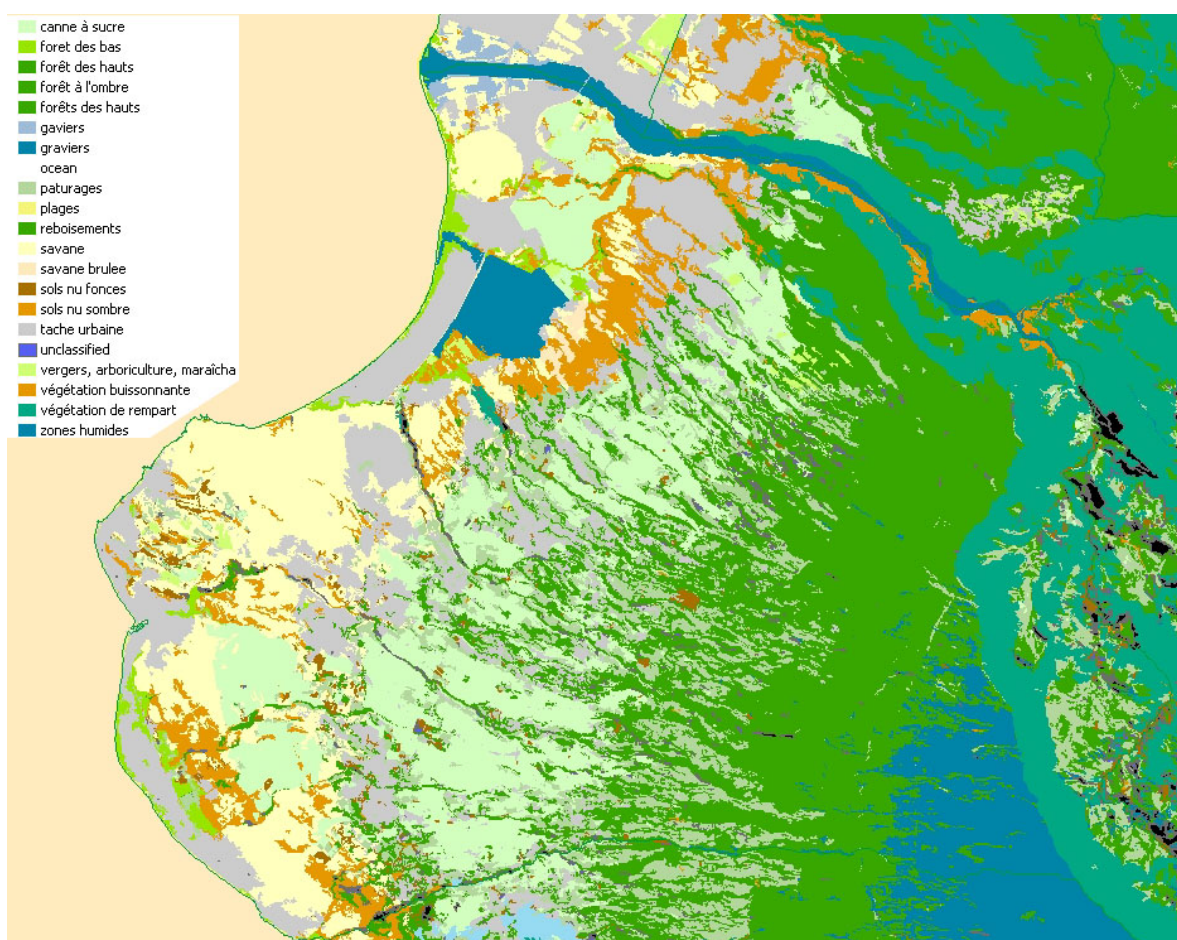


Figure 4 - Carte de l'occupation du sol de la zone AGIL en 2003

L'aspect technique

La cartographie d'occupation des sols à très haute résolution présentée ici est réalisée à partir d'images Spot 5 supermode©. Les images sont pré-traitées géométriquement et radiométriquement puis ortho-rectifiées. Les pré-traitements ont été réalisés en partie par Spot Image et en partie par le consortium. Un modèle numérique de terrain est utilisé en association avec les images Spot 5 afin de fournir des informations complémentaires pour la classification de la végétation par l'utilisation des connaissances biogéographiques sur les relations relief/végétation et altitude/végétation.

L'extraction des informations à partir des images Spot 5 et du MNT est exécutée avec le logiciel eCognition proposé par la société Definiens Imaging. La méthode d'extraction commence par une segmentation multi-résolution de l'image qui crée une base d'objets géographique cohérents spectralement et d'échelle comparable. Ces objets sont constitués de polygones pourvus d'attributs tant spectraux, que de forme, de texture ou de contexte. La classification est effectuée à partir de ces attributs par des algorithmes de classification floue affectant à chaque objet une classe définie par une nomenclature sémantique.

L'intérêt majeur de cette méthode de classification est de permettre un traitement « intelligent » de la complexité des images à très haute résolution où les objets sont nombreux et ne sont souvent reconnaissables que par des observations prenant en compte à la fois la radiométrie, le voisinage, la forme, et la texture. La segmentation de l'image est donc suivie de la création d'une base de connaissance sur le choix des attributs de classification à utiliser pour chaque classe. La classification procède à l'application de ces règles de connaissance par des opérateurs flous. La performance de ces méthodes de classification se poursuit dans les possibilités de retouches manuelles finales par photo-interprétation des objets mal classés. La validation est effectuée en comparaison avec des observations sur le terrain. La figure 5 montre la méthodologie de classification.

Recommandations

Chaque carte d'occupation des sols livrée sera accompagnée d'une notice d'utilisation qui précisera la signification exacte de chaque classe de la nomenclature. Selon les zones d'étude, la nomenclature devra être revue pour s'adapter aux spécificités locales.

3.2.2. Extraction du bâti à partir d'images THR

Thématique décrite

La connaissance de la distribution du bâti sur un territoire est une question d'une importance croissante dans les zones littorales en raison de l'accroissement des populations et de la pression foncière. La vitesse d'urbanisation s'étant accélérée ces dernières années, les informations disponibles sur la localisation et le nombre de bâtis sont souvent dépassées. Cette information est pourtant d'un intérêt majeur en aménagement du territoire tant à l'échelle communale que régionale. L'implantation du bâti a également un impact sur l'imperméabilisation des sols et donc sur le ruissellement qui est une des problématiques majeures des zones littorales.

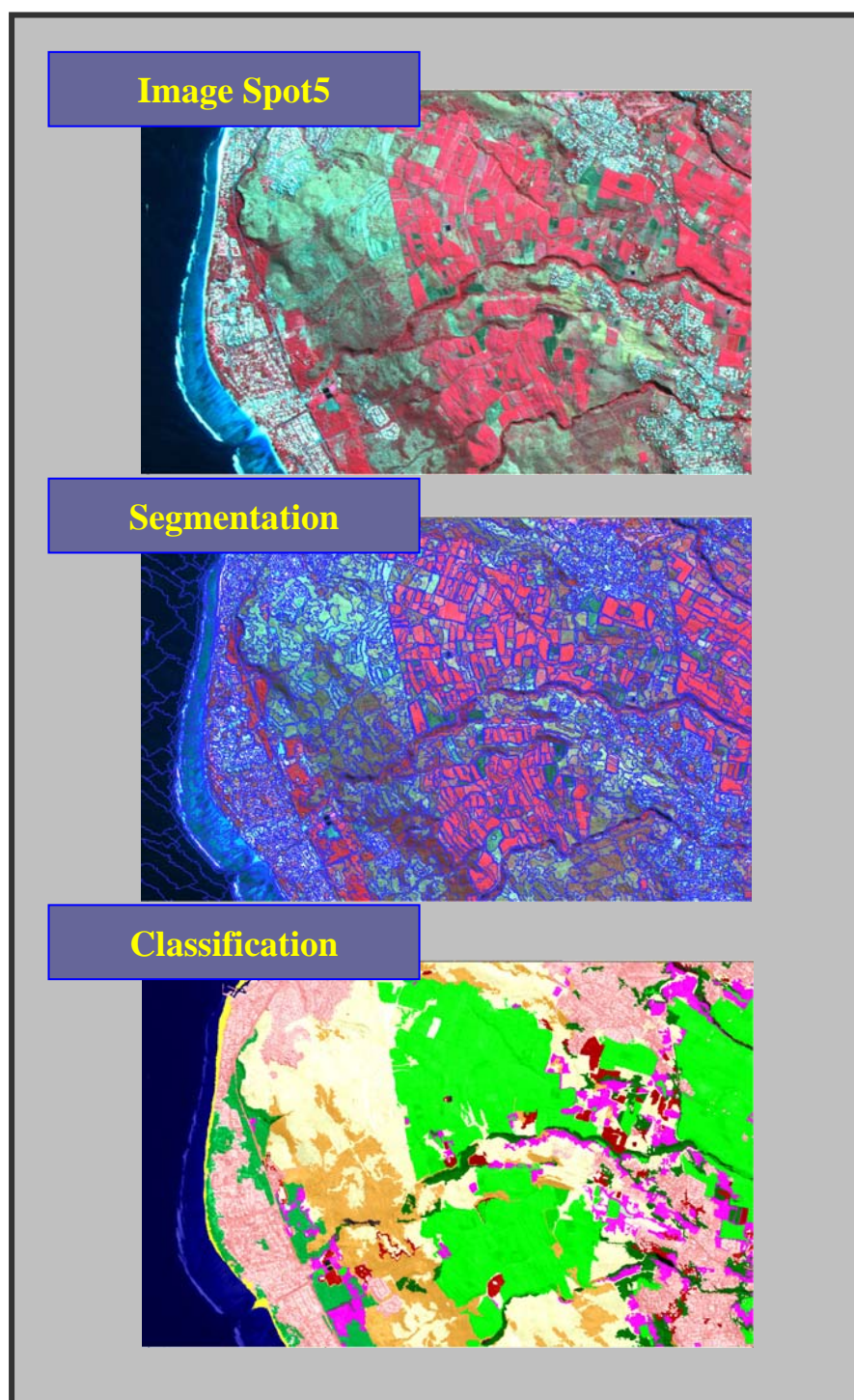


Figure 5 - Méthodologie de classification des images Spot 5 à l'aide du logiciel eCognition

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

Dans de nombreux pays, les connaissances sur la distribution du bâti sont anciennes mais même en France, où l'IGN met à disposition des cartes de très grande qualité tel que la BD Topo, la croissance urbaine est telle que les aménageurs seraient intéressés par une répétitivité plus élevée des observations. Jusqu'à une époque récente, la distribution du bâti était disponible uniquement à partir de photos aériennes. L'arrivée sur le marché commercial d'images satellites THR a permis de reporter sur l'imagerie spatiale le suivi de l'urbanisation.

Les images satellites ont l'avantage de posséder une meilleure géométrie et une répétitivité accrue. Les méthodes d'extraction du bâti sur les photo aériennes sont basées sur de la photo-interprétation et demande donc des temps de traitement très longs. Ces derniers limitent les possibilités d'augmentation de la répétitivité de production des informations. Pour accélérer la disponibilité des informations relatives à la distribution du bâti sur un territoire, le consortium a mis au point une méthode semi-automatique d'extraction du bâti à partir d'images Spot 5 Supermode©. La méthode pourrait être appliquée à toute image satellite d'une résolution au moins égale à ce qu'offre Spot 5.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation

Le produit est une carte du bâti proposée sous forme vecteur. Les bâtiments accolés sont vectorisés ensembles et ne sont donc pas séparés. La répétitivité peut être très élevée grâce à la méthode qui peut prendre en compte une information sur les bâtis existants et ne rechercher que les nouveaux bâtis. Ainsi une carte du bâti à jour semestrielle est tout à fait envisageable. L'échelle d'utilisation peut descendre au 1/10 000. La figure 6 montre les résultats de l'extraction du bâti à partir des images Spot 5 à 2,5 m sur l'ensemble de l'île et un extrait sur la commune du Port.

L'aspect technique

L'extraction du bâti présentée ici est réalisée à partir d'images Spot 5 supermode©. Les images sont pré-traitées géométriquement et radiométriquement puis ortho-rectifiées. Les pré-traitements ont été réalisés en partie par Spot Image et en partie par le consortium.

L'extraction du bâti est basée sur une analyse d'image orientée objet opérée avec l'aide du logiciel eCognition. Les étapes de traitements sont les suivantes : segmentation, choix des attributs de classification, paramétrisation des attributs, classification, nettoyage manuel.

Les temps de segmentation étant extrêmement long pour une scène entière Spot 5 à 2,5 m, une scène doit être divisée en 20 dalles afin de pouvoir être segmentée très finement. Pour information, le temps de segmentation de chaque dalle est d'environ trois heures avec un ordinateur possédant 1 Go de RAM et un processeur de 2 Ghz.

Les attributs de classification utilisés sont les suivants :

- taille des polygones,
- valeur spectrale dans la bande 2 de Spot5.

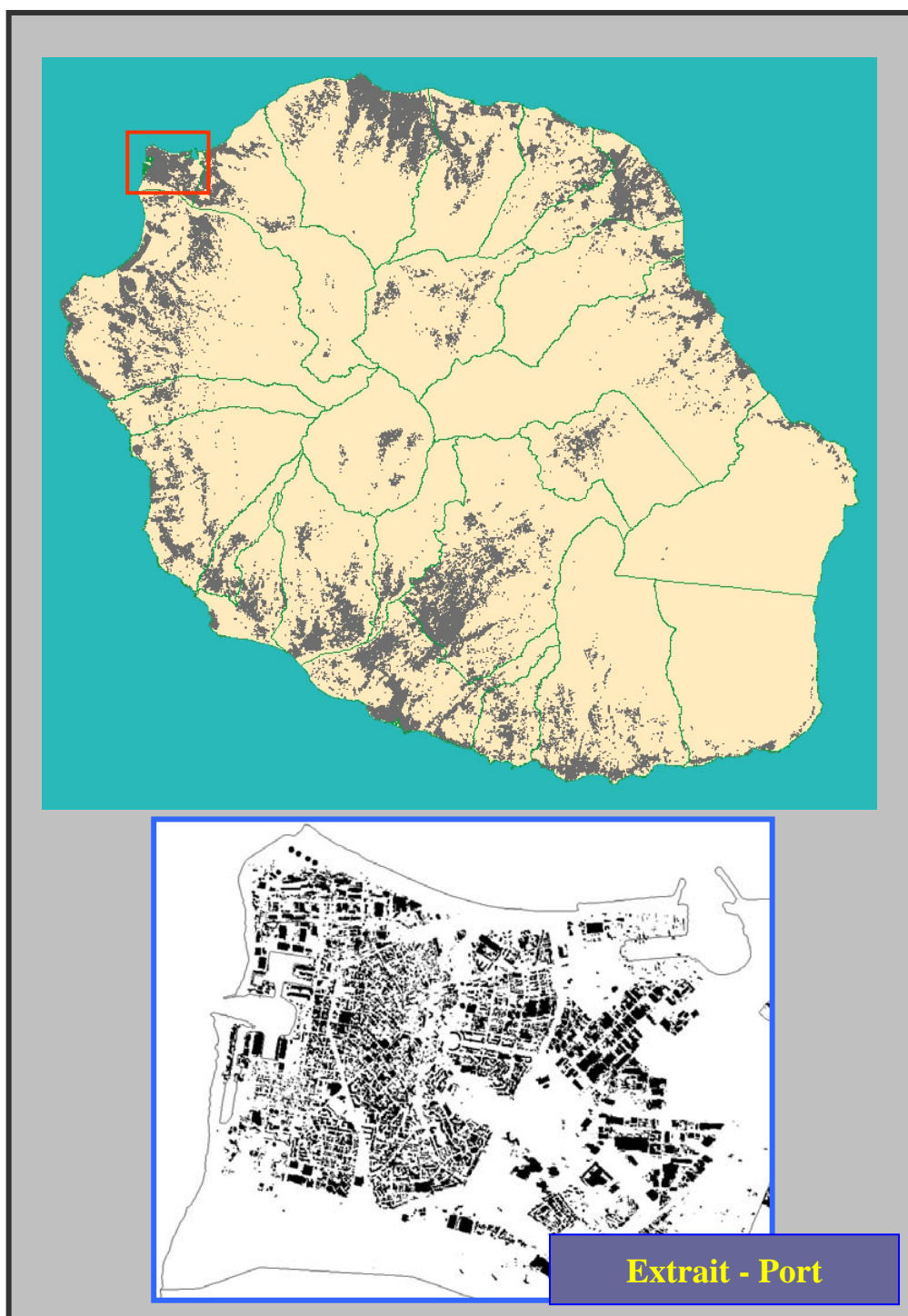


Figure 6 - Extraction du bâti sur l'ensemble de l'île et zoom sur la commune du Port

Les tôles des toits des cases réunionnaises ont une réflectance très forte dans la bande 2 de Spot, cependant c'est également le cas pour les plages de sable blanc, les champs de canne coupée et les nuages ainsi que certains sols nu très clairs. Afin de limiter les erreurs de classification, il est nécessaire d'utiliser un critère de taille, les polygones bâtis étant d'une taille largement inférieure à ceux des nuages et des champs. Il est ainsi possible d'extraire de manière totalement automatique le bâti sur l'ensemble d'une île telle que la Réunion. La figure 7 présente les opérations de segmentation ainsi que le résultat de l'extraction du bâti, la zone traitée couvrant la plaine littorale de la baie de St Paul et les bassins versants en amont.

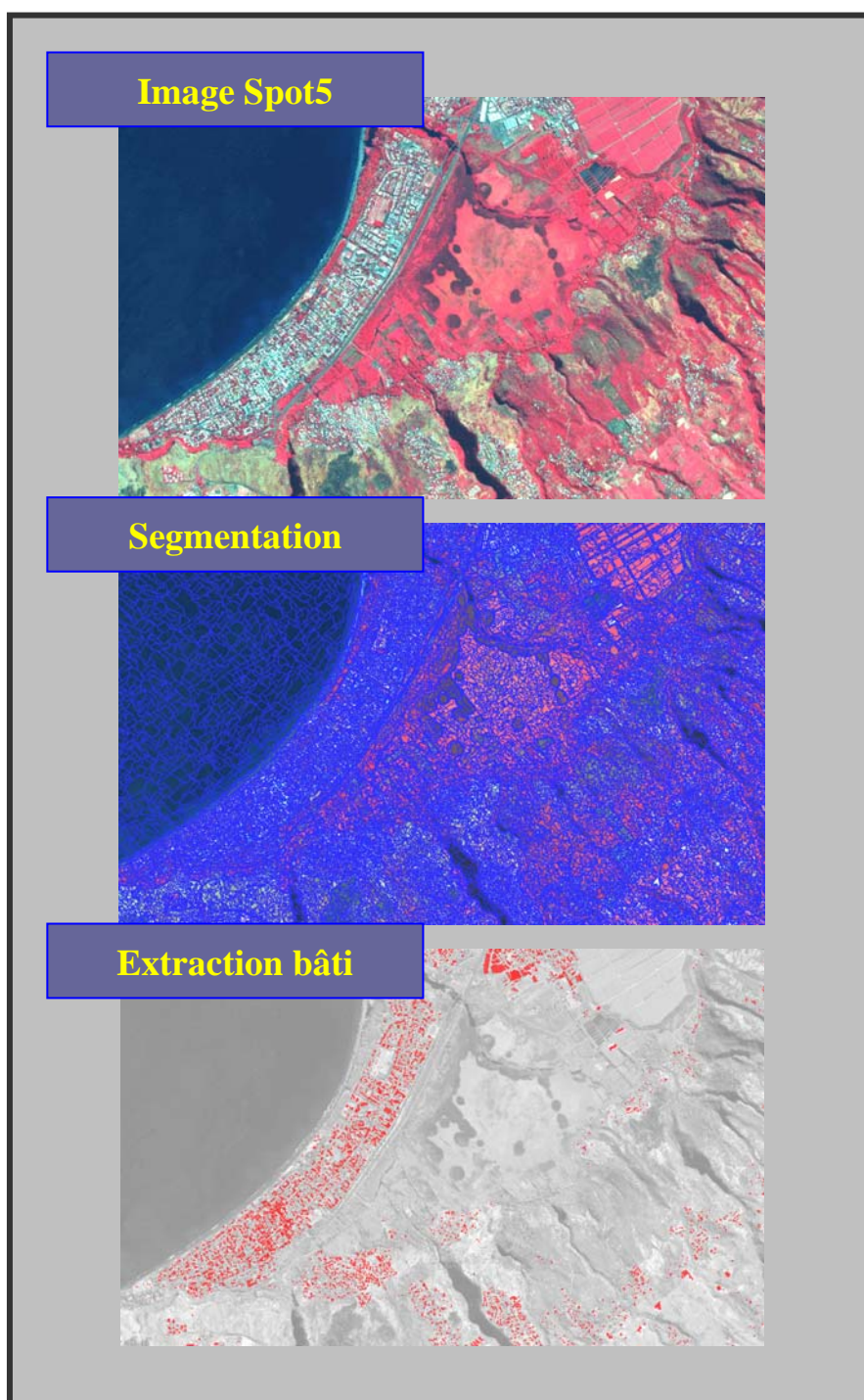


Figure 7 - Méthodologie de l'extraction du Bâti après segmentation de l'image

Les possibilités de correction manuelle d'eCognition sont nécessaires pour améliorer ce résultat. Un outil de sélection des polygones permet de les reclasser d'un simple click de souris dans la bonne classe. Les champs constitués de petits polygones qui auraient été classés en bâti ont été reclassés tout comme les grands bâtiments qui risquaient d'échapper au classement en raison du critère de taille. L'image classifiée est ainsi « nettoyée » manuellement à raison de deux heures par dalle.

Dans l'ensemble la méthode d'extraction utilisée permet d'identifier plus de 95% du bâti avec une tendance à sous-estimer les bâtiments au sein des quartiers denses ainsi que certains bâtiments isolés de moindre taille. Les qualités en terme de forme des bâtiments extraits est d'une qualité limitée en raison de la faible résolution des images, de la généralisation effectuée et d'un effet « halo » issu des artefacts du Supermode® de Spot5.

Recommandations

L'extraction du bâti sur l'ensemble de la Réunion a bénéficié d'un contexte local particulier : la prédominance des toits en tôles des cases réunionnaises. Dans d'autres contextes, les difficultés d'extraction du bâti peuvent s'accroître avec la diversité des types de toiture et en fonction de l'environnement direct des habitats. Ainsi les cases africaines recouvertes de pailis seront difficiles à identifier de la savane sèche environnante.

Dans certains centres-villes denses, la méthode utilisée peut amener une sous-détection du bâti.

3.2.3. Définition et cartographie de la tâche urbaine par télédétection THR

Thématique décrite

La cartographie de la tâche urbaine donne une vision de l'emprise spatiale du milieu urbain. La tâche urbaine permet de mesurer l'étendue des surfaces artificialisées qu'elles soient imperméabilisées (parking, bâti...) ou non (jardins, parcs, stades...). En revanche les bâtis isolés ne sont pas pris en compte. La connaissance de la tâche urbaine est utile pour séparer les milieux urbains, agricoles et naturels dans les cartes d'occupations des sols. Principalement utilisée pour les études d'urbanisme, elle peut également servir à la gestion des ruissellements en l'associant avec des taux d'imperméabilisation.

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

La tâche urbaine est généralement définie par analyse spatiale. On considère qu'à partir d'une certaine densité de bâti nous sommes en présence d'une tâche urbaine et la tâche est étendue par dilatation avec des buffers de 50 m dont le centre est un bâti. Chaque bâti contenu dans un nouveau buffer devient lui-même le centre d'un buffer et la dilatation continue tant que les buffers suivants contiennent des bâtis. L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'au final les limites de la tâche urbaine sont définies par des cercles dont les contours n'ont aucun lien avec l'occupation des sols qui les porte. Ainsi les limites réelles entre zones urbaines et agricoles ou naturelles ne sont pas définies et des zones agricoles ou naturelles peuvent être classées comme tâche urbaine.

Au contraire, la tâche urbaine proposée ci-dessous a ses limites définies par télédétection et prend donc en compte les ruptures paysagères de manière très précise (figure 8). Ainsi les milieux urbains sont distingués spatialement des autres types de milieux.

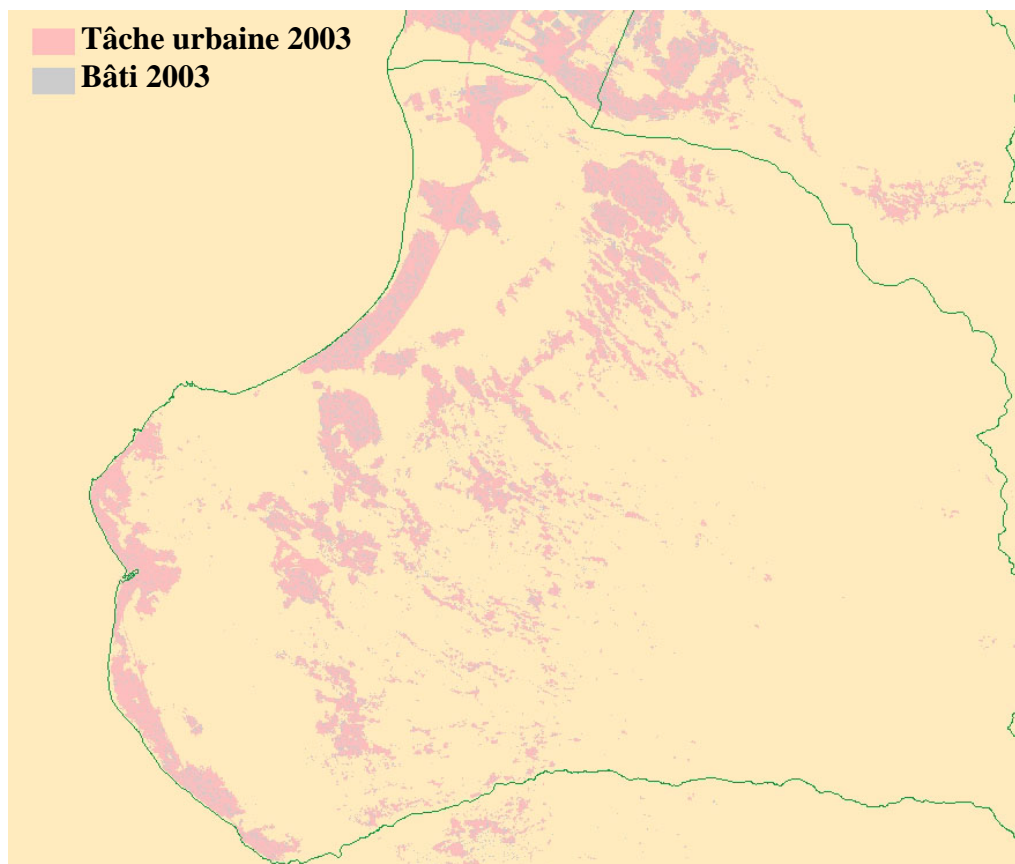


Figure 8 - La tâche urbaine et le bâti de la commune de Saint Paul

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation

Le produit « Tâche Urbaine » est livré sous forme d'une couche vecteur. L'échelle d'utilisation peut descendre au 1/10 000. Ce produit étant un dérivé du produit « Extraction du bâti », la même répétitivité peut être obtenue. Ainsi une carte semestrielle de la « Tâche Urbaine » est envisageable même si dans la plupart des applications, une carte annuelle est suffisante, la tâche urbaine évoluant moins rapidement que le bâti.

L'aspect technique

Le produit « Tâche Urbaine » est obtenu à partir d'images Spot 5 supermode©. Les images sont pré-traitées géométriquement et radiométriquement puis ortho-rectifiées. Les pré-traitements ont été réalisés en partie par Spot Image et en partie par le consortium.

L'extraction du bâti est basée sur une analyse d'image orientée objet opérée avec l'aide du logiciel eCognition. L'image Spot 5 est segmentée plus grossièrement que dans le cas de l'extraction du bâti et la classification est opérée en fonction d'attributs spectraux et de densité de bâti. Cette mesure de la densité utilise le produit « Extraction du bâti présenté précédemment. Enfin les polygones encerclés entièrement par des polygones classés « Tâche Urbaine » sont eux-mêmes classés « Tâche Urbaine » afin de ne pas avoir une tâche urbaine mitée en raison des stades et des parcs. L'image classifiée est ensuite « nettoyée » manuellement à raison de 30 minutes par dalle de 50 km². La figure 9 montre les différentes étapes de la méthode de définition de la « tâche urbaine ».

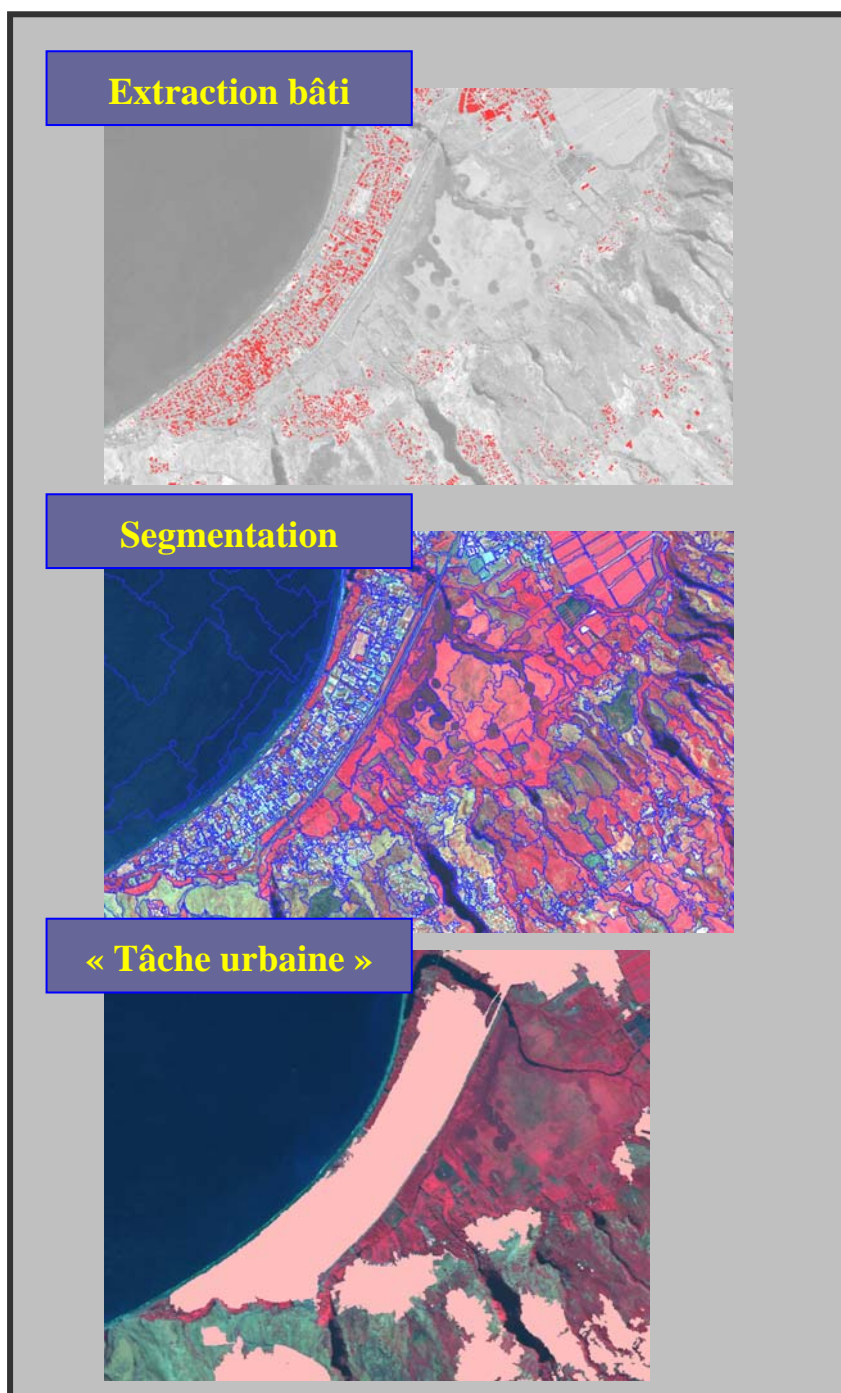


Figure 9 - Méthodologie d'extraction de la tâche urbaine

Recommandations

La définition de la tâche urbaine par télédétection étant une nouvelle méthode, elle n'est pas reconnue à ce jour dans les documents législatifs et doit donc faire l'objet d'une validation institutionnelle avant d'être appliquée. Ce que l'on appelle ici la tâche urbaine peut varier d'une région à l'autre en fonction de l'organisation spatiale de l'étalement urbain. Ainsi suivant les régions il peut y avoir non pas une, mais des tâches urbaines à définir au cas par cas ; ce qui peut compliquer considérablement les règles d'extraction. A la Réunion, on distinguera notamment deux formes d'urbanisation : urbanisation dense dans les bas et urbanisation espacée le long des linéaires routiers dans les hauts.

3.2.4. Suivi de l'évolution des modes d'occupation des sols entre 1989 et 2002

Thématique décrite

Confronté à une forte croissance démographique, à l'existence de zones naturelles protégées et au nécessaire maintien de son activité agricole, le territoire insulaire réunionnais doit aujourd'hui faire face à de nombreux défis liés aux modes d'occupation de l'espace. Les problématiques d'accès à la ressource foncière sont donc essentielles : périurbanisation, phénomène de mitage de l'espace rural, urbanisation dans les Hauts, renforcement de la protection des espaces naturels, réduction des surfaces agricoles... Les interactions entre les différents modes d'occupation du sol ont pour conséquence une intensification de la concurrence foncière.

Dans ce contexte, les institutions impliquées dans les domaines du développement agricole et de l'aménagement du territoire à la Réunion (Conseils Régional et Départemental, Comité de pilotage de la canne, DAF*...) ont besoin d'informations claires et fiables pour leur prise de décision dans le cadre de la mise en œuvre de leurs politiques publiques. La mise en place d'un suivi régulier de l'évolution des modes d'occupation des sols permet d'observer les effets des politiques publiques sur l'organisation des territoires et d'adapter ces politiques dans un contexte de fort dynamisme territorial.

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

Le suivi de l'évolution des modes d'occupation des sols est une application courante de la télédétection satellitaire. La télédétection des changements implique des procédures et des choix spécifiques (résolution du capteur, répétitivité, choix des images, corrections radiométriques et géométriques). Avant toute chose il faut que la nature des changements étudiés soit détectable par le capteur : il faut établir le rapport entre la résolution de ce dernier et l'échelle du phénomène dynamique que l'on cherche à quantifier et à qualifier. La répétitivité des prises de vue doit donc être en conformité avec la cinétique des changements.

On distingue globalement deux types de méthode de détection des changements : la comparaison d'images pixel à pixel (on étudie la trajectoire radiométrique du pixel sur des combinaisons d'images multidates) ou la comparaison de classifications (on compare des images classées). La dernière méthode a été retenue car elle offre des résultats plus performants.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation

Le produit est constitué de deux classifications (une par date), et peut être complété par des cartes de changement réalisées à partir de ces deux classifications. Les classifications et les cartes de changement sont livrées géoréférencées au format raster. La résolution des cartes correspond à la résolution la plus faible des images satellites utilisées.

Les figures 10 et 11 présentent les cartes d'occupation des sols de 1989 et 2002 pour l'ensemble de la Réunion et pour la zone d'étude AGIL.

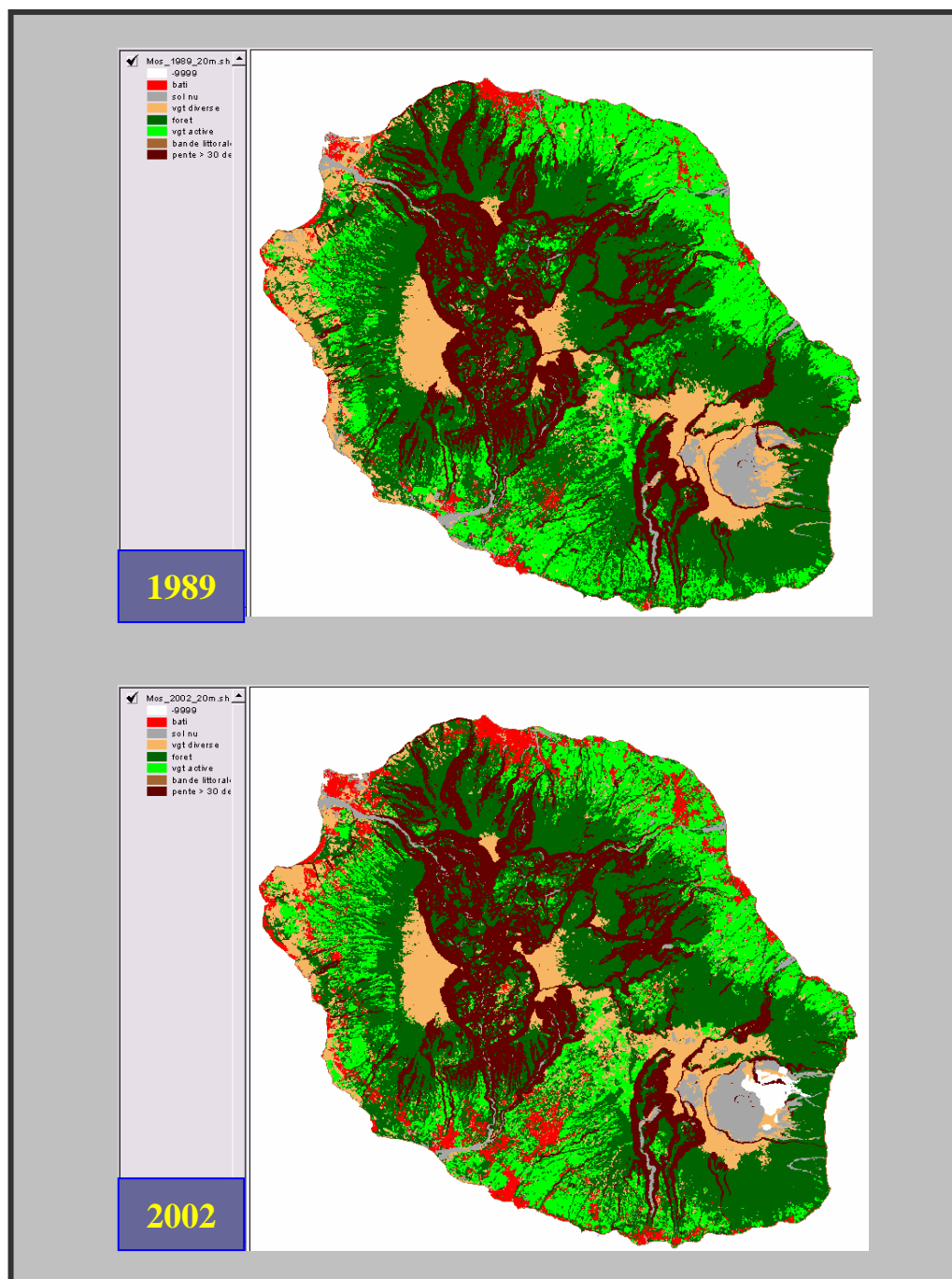


Figure 10 - Cartes d'occupation des sols de l'île de la Réunion en 1989 et 2002

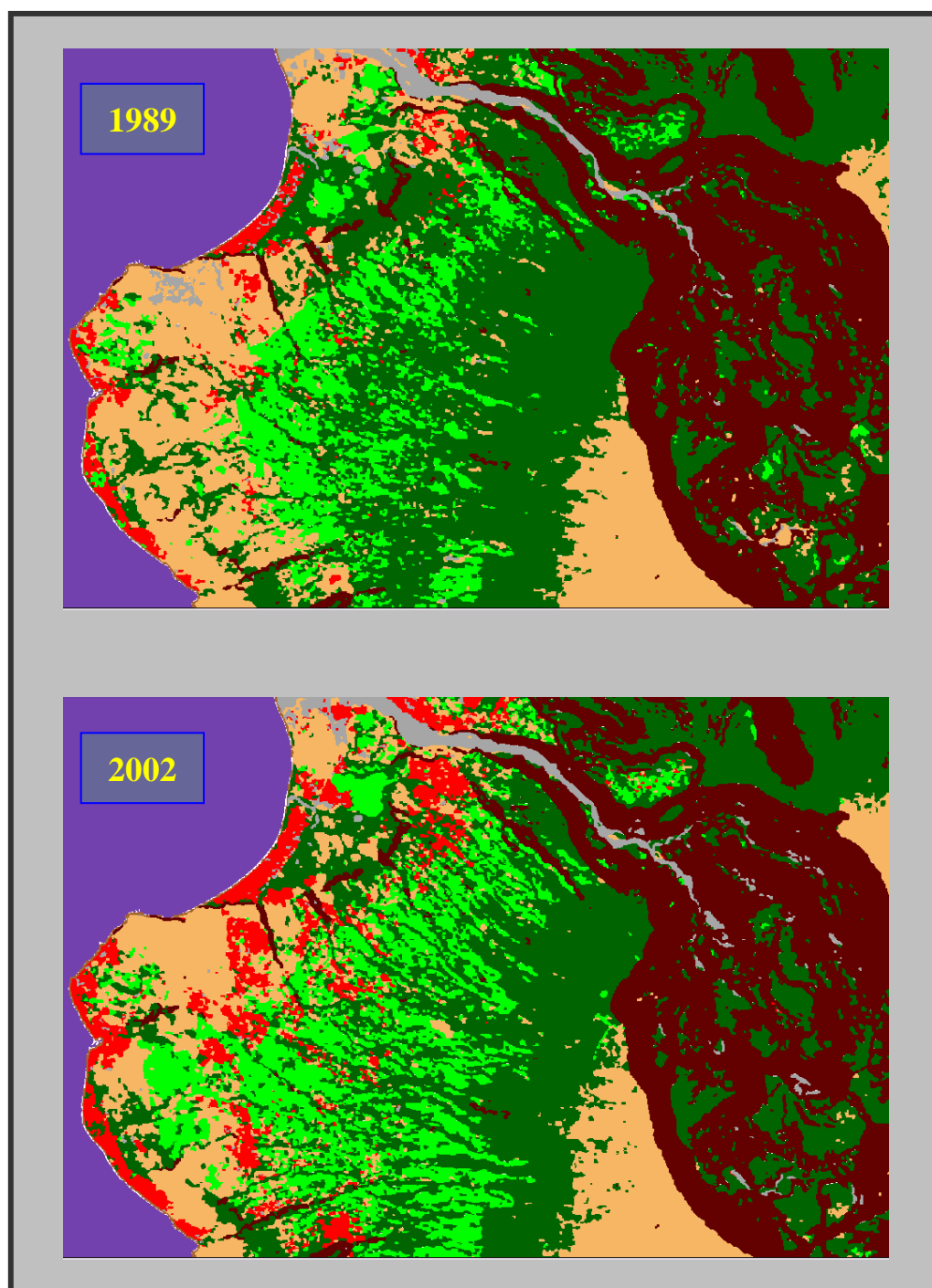


Figure 11 - Cartes d'occupation des sols de la zone d'étude AGIL en 1989 et 2002

La figure 12 montre la carte des changements entre 1989 et 2002. Les cartes de changements peuvent être produites en réponse à des questions particulières telles que :

- quelles sont les modes d'occupation des sols à l'origine du bâti ?
- que devient la végétation active ?
- ...

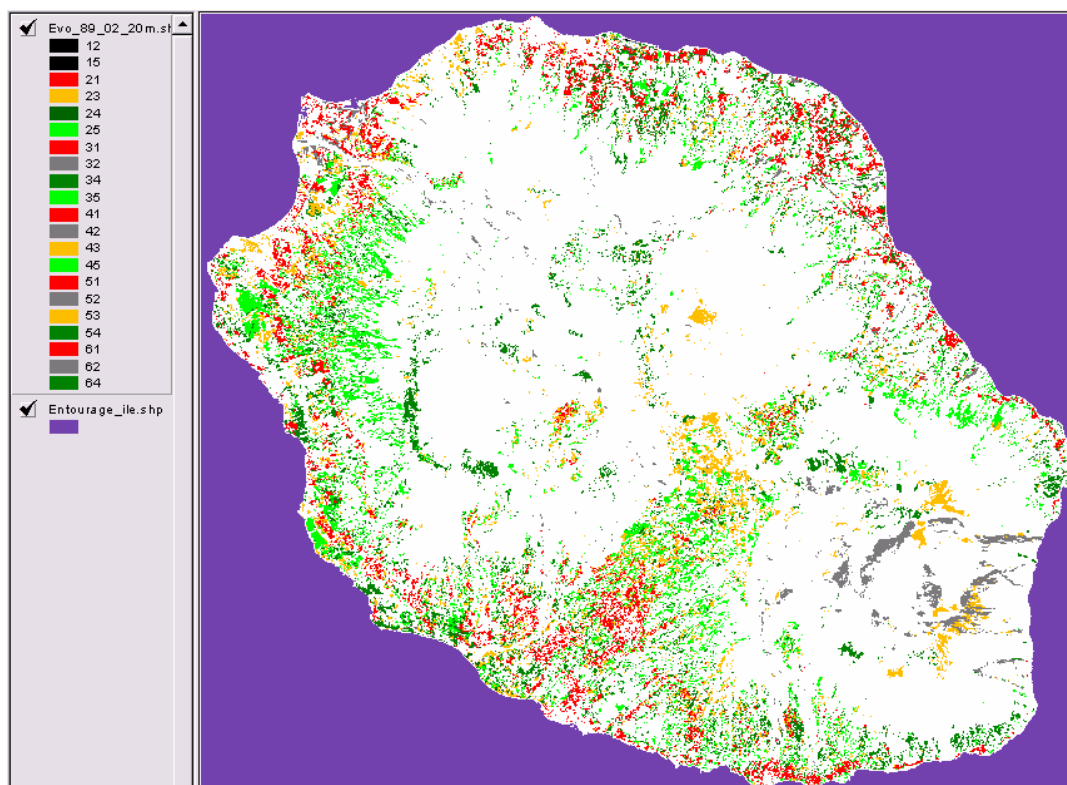


Figure 12 - Carte des changements d'occupation des sols entre 1989 et 2002 à la Réunion

L'aspect technique

Les images sont pré-traitées géométriquement et radiométriquement puis ortho-rectifiées. Les pré-traitements ont été réalisés en partie par Spot Image et en partie par le consortium. Le suivi de l'évolution des modes d'occupation des sols nécessitant plusieurs images Spot 5, celles-ci sont orthorectifiées deux à deux.

La résolution des images doit ensuite être harmonisée. En effet, afin de comparer deux images par superposition pixel à pixel, il est nécessaire qu'elles aient la même résolution. Ainsi, le calcul de l'image de 2002 a également intégré une modification de la résolution (on est passé d'une résolution de 10 m à une résolution de 20 m). L'interpolation bicubique a permis de reproduire mathématiquement l'intégration radiométrique au sol correspondant à cette résolution.

L'hypothèse de comparabilité des images classées reposant sur l'homogénéité des traitements les affectant, le choix des canaux a été contraint par les bandes spectrales du satellite Spot* 1 : vert, rouge et proche infrarouge. La bande MIR de Spot 4 a donc été exclue des traitements.

Pour chaque image, nous avons exclu les nuages et leurs ombres par masquage géographique digitalisé à l'écran. Les masques des nuages des deux images ont ensuite été réunis et appliqués aux deux images afin de ne garder que les zones où les changements étaient potentiellement identifiables.

La technique de la comparaison de classifications d'image permet de localiser et d'identifier les changements d'occupation du sol. Une méthode de classification a ainsi été appliquée à chaque image en vue de les comparer par la suite. La difficulté est ici de reproduire exactement la même classification sur chaque image (mêmes plages cartographiques si celles-ci sont stables dans le temps).

La méthode de classification utilisée pour cette étude est supervisée (algorithme : maximum de vraisemblance) : la connaissance de la zone d'étude est capitalisée et mise à profit pour déterminer l'appartenance de chaque pixel à une classe.

La nomenclature utilisée pour la carte de l'évolution des modes d'occupation des sols est la suivante :

- Bâti
- Canne à sucre, végétation herbeuse très active
- Prairie
- Végétation herbeuse/buissonnante sèche, savane
- Forêt
- Sol peu végétalisé
- Sol nu eau, ombres

L'acquisition de données de terrain est nécessaire pour améliorer une classification supervisée des images de télédétection.

Dans un premier temps, des experts de l'agriculture réunionnaise (DAF*, CIRAD*, comité de pilotage de la canne) ont été sollicités afin de nous guider dans notre approche du terrain : une projection sur écran des images satellites a été commentée. A l'issue de cette réunion, 30 points de terrain ont été numérisés (information « à dire d'expert »). L'intérêt de cette démarche était également d'associer les institutions de l'agriculture réunionnaise au projet.

Une base de données incluant 250 relevés de terrain couvrant l'ensemble de l'île a été mise en place :

- le site devait être représentatif d'une classe thématique à distinguer.
- le site devait avoir une surface suffisante pour être repéré sans ambiguïté sur l'image.

L'algorithme de classification utilisé est un algorithme statistique de classification par maximum de vraisemblance (CMV*) sous hypothèse gaussienne. Chaque pixel est ainsi classé selon sa probabilité d'appartenance à une classe. L'hypothèse gaussienne implique que la probabilité d'occurrence d'une classe est homogène sur l'ensemble de l'image. Le comportement numérique de chaque groupe de pixel est estimé à partir du comportement numérique des noyaux associés à la classe. L'utilisation de cet algorithme permet de compenser les effets du rééchantillonnage par convolution cubique lors du géoréférencement puisque la décision sur l'appartenance à la classe se fait par maximum de vraisemblance

La classification structurale est un mode de classification des images qui prend en compte le voisinage des pixels. C'est un outil de simplification par intégration spatiale (GIRARD & GIRARD, 1999). Une classification structurale a été effectuée sur chacune des deux

classifications issues du traitement par maximum de vraisemblance avec une fenêtre de taille 5x5. Deux types de noyau ont été définis :

- des noyaux purs, correspondant aux groupes thématiques de la classification par maximum de vraisemblance ;
- deux noyaux composites (« espace urbain dense », « espace urbain peu dense ») combinant le semis de pixels de bâti, de sol nu et de végétation des zones urbanisées.

L'évaluation de la performance de la classification sur l'image de 2002 a été effectuée à partir des points pris sur le terrain et par photo-interprétation de l'image Spot 5 (choix des points de contrôle par combinaison d'un échantillonnage aléatoire et d'un échantillonnage aléatoire stratifié, au moins 30 point de contrôle par classe). La performance globale de la classification de l'image de 2002 est de 79.19 %. On constate une bonne performance pour le bâti (95.83 % précision utilisateur). Le groupe thématique « canne à sucre et végétation très active » est classé avec une précision utilisateur de 88 %. Cependant, les classes de « végétation herbeuse/buissonnante sèche et savane » et de prairie sont très moyennement classées, ces classes se confondant entre elles. La classification de l'image de 1989 a été comparée aux données IGN ce qui donne des résultats cohérents mais l'évaluation statistique sans véritable point de contrôle pour une date antérieure pose problème d'où l'intérêt pour le suivi des modes d'occupation des sols d'un territoire de la mise en place d'une base de données spatialisées mise à jour d'observations de terrain.

Recommandations

Les changements identifiés sur les cartes d'évolution des modes d'occupation des sols doivent être analysés avec prudence en tenant compte

- 1) de la proportion de changement/faux changement (confusion) et
- 2) de la proportion des changements intra-annuels/inter-annuels (liés entre autres aux pratiques culturelles ou aux différences de conditions atmosphériques lors des prises de vue).

Pour permettre un suivi opérationnel précis des évolutions des modes d'occupation des sols d'un territoire, la mise en place d'un suivi terrain annuel intégré à une base de données spatialisées est un investissement indispensable.

Un guide critique d'utilisation de ces données a été rédigé par l'équipe des développeurs (Lagabrielle *et al.*, 2005).

3.2.5. Cartographie de l'aléa érosion des sols

Thématique décrite

A la Réunion, la combinaison de pentes importantes, dus à la jeunesse de l'île, avec les précipitations importantes typiques des saisons des pluies des climats tropicaux donne lieu à des événements extrêmes et destructeurs de type inondations ou glissements de terrains. Les questions de ruissellement et d'érosion, bien que mal connues, sont donc au cœur des préoccupations des aménageurs. Nous définirons l'aléa érosion comme la probabilité qu'il y ait arrachement et transport de particules solides.

Trois des produits développés dans le cadre d'AGIL (le premier par le CIRAD, le second par le BRGM et le troisième par l'IRD) portent sur la thématique érosion. Certains les intitulent *cartographie de l'aléa érosion des sols*, d'autres de *cartographie de la vulnérabilité*, ou de

sensibilité, voire de susceptibilité, des sols à l'aléa érosion ; la terminologie en matière de gestion des risques faisant encore débat. On considèrera cependant que l'érosion est le produit de l'érosivité des pluies et de la sensibilité (ou vulnérabilité) des terrains, paramètre qui regroupe plusieurs facteurs : la nature du sol, la manière dont il est cultivé et sa capacité à résister à l'érosion, le gradient et la longueur de la pente, la couverture végétale (Arnold *et al.*, 1989).

Au delà de ces discussions, l'objectif était, dans les trois produits développés, de cartographier pour chaque objet de l'image (pixel ou agglomération de pixels homogènes) la probabilité de départ des matériaux terrigènes, en fonction de différents critères. Chaque objet est donc pris de manière individuelle, sans tenir compte de ceux qui le précèdent et de ceux qui le suivent. On ne tient donc pas compte de la notion de ruissellement⁸ qui, pourtant, joue un rôle fondamental dans la probabilité à arracher les matériaux terrigènes : plus l'eau ruisselle vite, plus elle arrive avec force et plus elle est capable d'entraîner et de se charger en matériaux terrigènes (figure 13). Ainsi, les surfaces bétonnées et urbanisées sont rattachées à un indice faible, voire nul, puisqu'elles ne sont pas sujettes au départ de matériaux terrigènes. Il s'agit ainsi de fournir un premier outil d'aide à la décision pour les gestionnaires du territoire pour décider des futurs projets d'aménagements agricoles et urbains.

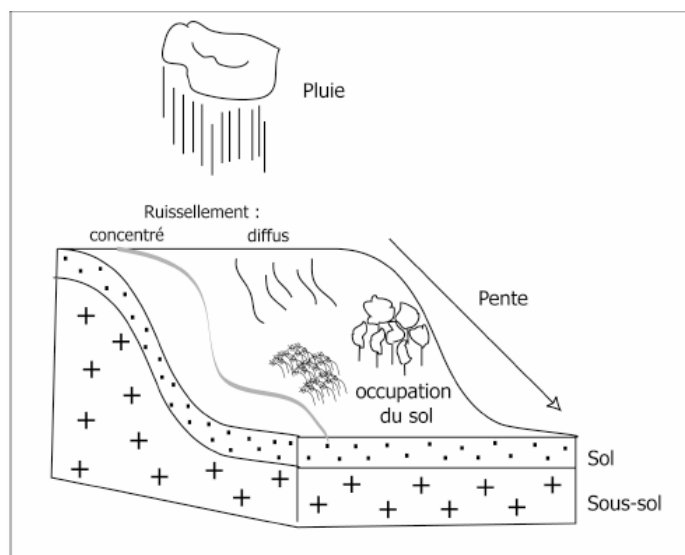


Figure 13 - Les paramètres intervenant dans les phénomènes érosifs

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

Seule une étude traitait de l'érosion des sols à la Réunion avant le projet AGIL. Il s'agit de la cartographie de l'aléa érosion des sols sur l'ensemble de l'île de la Réunion, réalisée en 2002 par le BRGM et l'APR en collaboration avec le CIRAD⁹. Il existait également une carte morpho-pédologique réalisée par le CIRAD (Raunet, 1988). C'est dans la continuité de cette cartographie que s'inscrivent les produits AGIL.

⁸ Si ce n'est à travers le paramètre « aptitude au ruissellement », déduit de la carte morpho-pédologique.

⁹ Cf. Chevalier P., Hébert A., Kaufmant T., Moyen J., Cartographie de l'aléa érosion des sols à La Réunion, Phase 1 : caractérisation et cartographie des phénomènes érosifs, Rapport BRGM RP - 51236-FR, 2001, SGR/REU 27.

Chevalier P., De La Torre Y., Hébert A., et Kaufmant T., coll. Chabalier P.F., Cartographie de l'aléa érosion des sols à La Réunion, Phase 2 : caractérisation et cartographie (1/100 000 à 1/50 000) de l'aléa érosion, Rapport BRGM RP - 52031-FR, 2002, SGR/REU 22.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation

Trois études cartographiques ont été réalisées sur le thème de l'érosion des sols.

Etude 1 : croisant topographie, nature du sol et couverture végétale

Le premier travail, réalisé dans le cadre d'un master SILAT¹⁰, a porté sur une étude diachronique de la sensibilité à l'érosion des sols pour les années 1995 et 2002 sur la zone AGIL. L'apport satellitaire à ce travail résidait dans la définition des facteurs liés à l'occupation du sol. Deux cartes d'occupation du sol ont été développées à partir de l'analyse d'images SPOT de 1995 et 2003 à 20 m de résolution. Ces cartes ont ensuite été utilisées pour construire la sensibilité des sols à l'érosion pour ces deux dates à partir d'une réflexion logique se déclinant sous une forme arborescente qui intègre l'occupation du sol, la pente et l'érodibilité, paramètre qui correspond à la cohésion et à la stabilité des matériaux (figure 14).

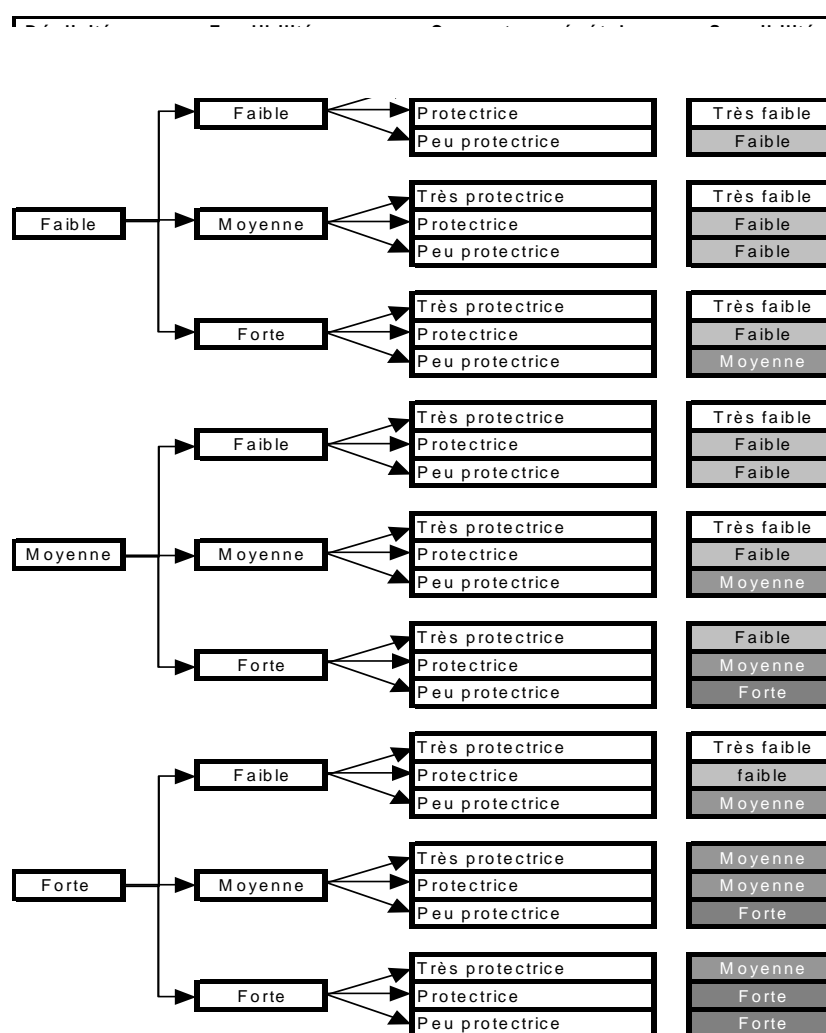


Figure 14 – Arbre décisionnel ayant servi à la réalisation des cartes de susceptibilité des sols à l'érosion

¹⁰ Soti V. (2003). Apport de la télédétection à la gestion intégrée du lagon de St Gilles/La Saline à l'île de La Réunion, un exemple d'application : cartographie et suivi des zones susceptibles à l'érosion des sols entre 1995 et 2002 par intégration des données SPOT. Montpellier, Master SILAT, rapport final, 41 p.

Ces cartes de sensibilité se décomposent grossièrement en quatre zones de bas en haut (figure 15) :

- Zone à faible vulnérabilité : pentes faibles, érodibilité faible, couverte de savane et de canne
- Zone à faible et moyenne vulnérabilité : pentes faibles, érodibilité moyenne, couverte de canne
- Zone à moyenne et forte vulnérabilité : pentes moyennes, érodibilité forte, couverte de canne et de prairie
- Zone à forte vulnérabilité : pentes fortes, érodibilité forte, sol nu

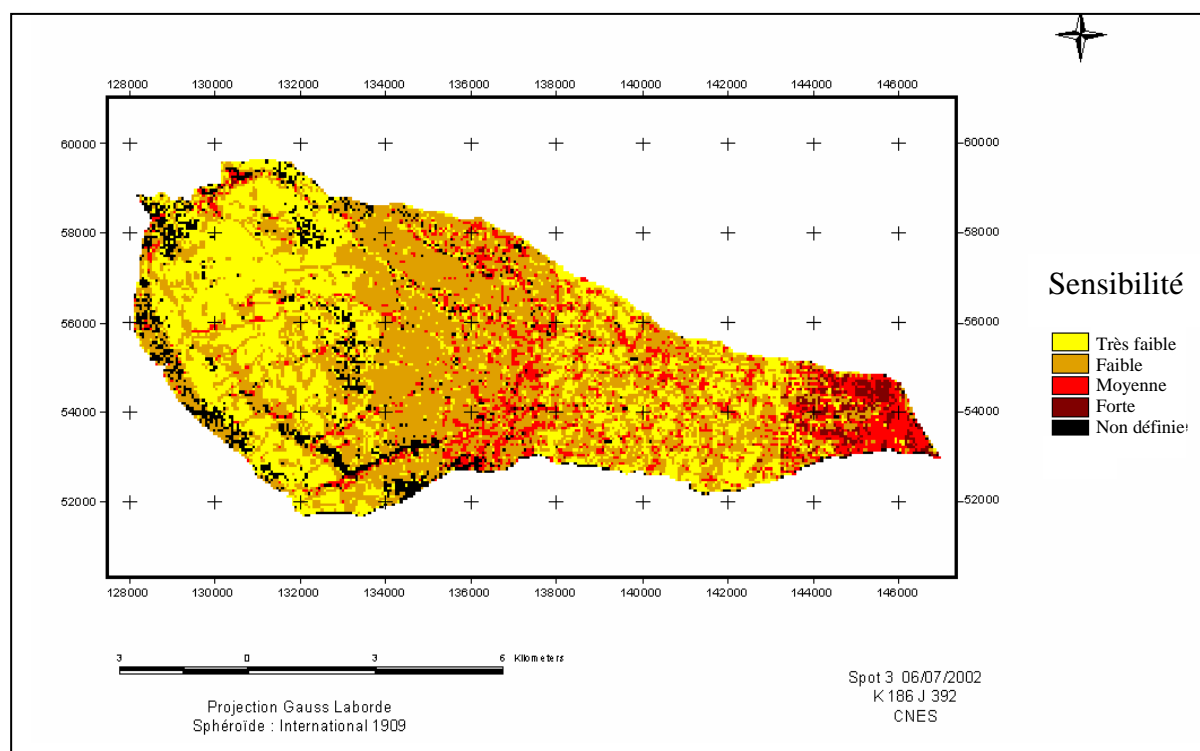


Figure 15 - Sensibilité des sols à l'érosion 2002

L'étude diachronique 2002-1995 montre que les changements de sensibilité sont focalisés dans les hauts et dans la zone de mi-pente ; là, le resserrement des courbes de niveau topographique fait que tout changement de l'occupation du sol, notamment des défrichements où la mise en culture d'espaces arbustifs ou arborés se traduisent par des changements de sensibilité des sols à l'érosion. C'est par exemple le cas des hauts de la zone où un feu a brûlé la végétation en 1998, découvrant le sol et augmentant drastiquement la sensibilité de cette région à l'érosion. Même s'ils sont importants, les changements d'occupation des sols dans les bas, l'étalement des espaces bâtis notamment, n'ont qu'un impact faible sur le processus de départ de matériaux. Ils jouent par contre un rôle essentiel dans les phénomènes de ruissellement non traités par cette étude.

Cette analyse ayant été effectuée avec des images Spot d'une résolution de 20 m, il s'est vite avéré indispensable d'évaluer le gain de précision qu'apportait Spot 5 en matière de cartographie de l'occupation du sol pour cartographier la sensibilité des sols à l'érosion. C'est l'objet des deux études qui ont suivi, qui ont intégré un paramètre supplémentaire : la pluviométrie.

Etude 2 : croisant topographie, nature du sol, couverture végétale et pluviométrie moyenne

La seconde étude s'appuie sur la carte de l'aléa érosion du BRGM et de l'APR réalisée en 2002 sur l'ensemble de l'île à l'aide des données d'occupation du sol de 1997 issues d'une campagne aérienne de l'IGN et fournies par la BD Topo. de 1997 issues d'une campagne aérienne de l'IGN. Cette cartographie se fonde sur la construction d'un modèle de l'érosion hydrique qui intègre la topographie (la pente), le substratum (le sol et le sous-sol pour les affleurements), l'occupation du sol et le climat.

Le facteur climatique a été représenté par les pluies moyennes mensuelles. Il conduit à proposer trois types de cartes, correspondant chacun à une saison distincte : sèche, orageuse et cyclonique. L'intégration au modèle de la carte d'occupation des sols AGIL à 2,5 m de résolution, issue de l'image Spot 5 de 2003, en place des données de la BD Topo de 1997 a permis de dresser une nouvelle carte de l'aléa érosion. La comparaison diachronique 1997/2003 fait ressortir les conséquences de l'évolution de l'occupation du sol en 6 ans sur l'aléa érosion (figure 16).

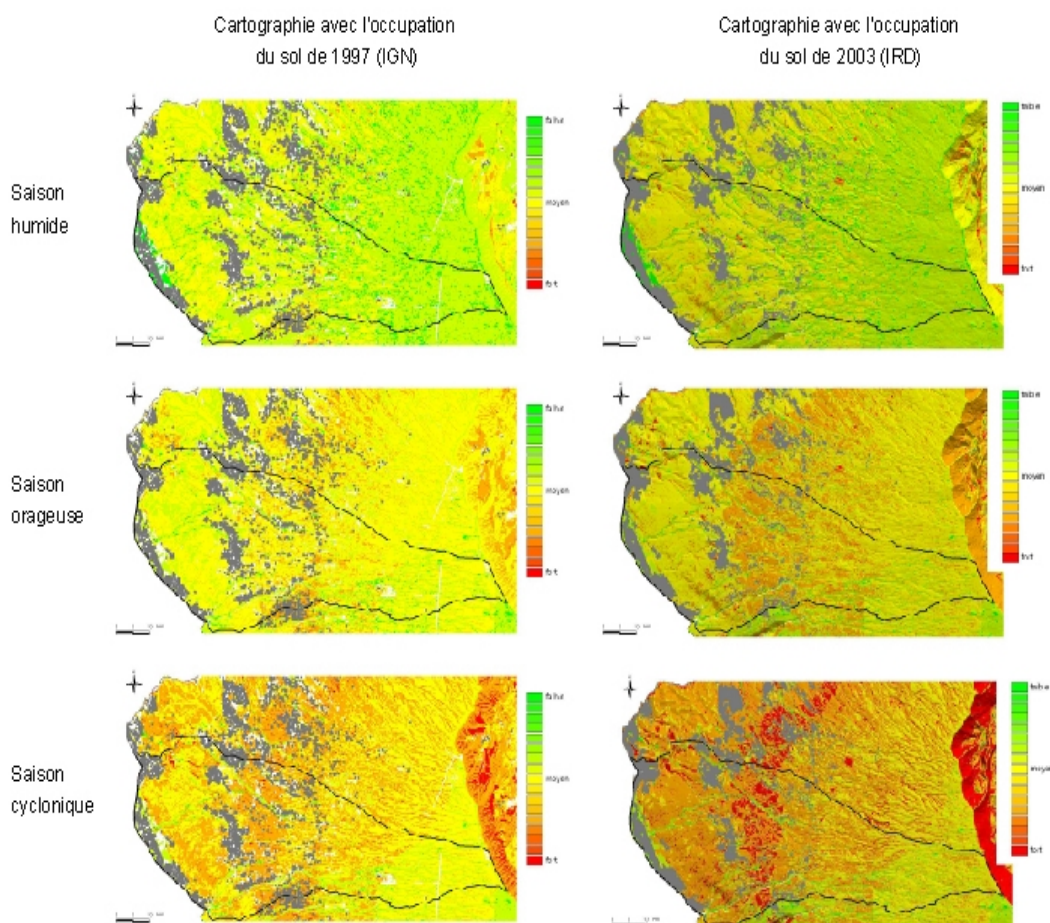


Figure 16 – Vulnérabilité des sols à l'aléa érosion selon trois saisons climatiques

Sans surprise, la saison cyclonique est celle durant laquelle l'aléa érosion est le plus prononcé en 1997 comme en 2003. Les zones de mi-pente notamment apparaissent très sensibles à cet aléa (figure 18).

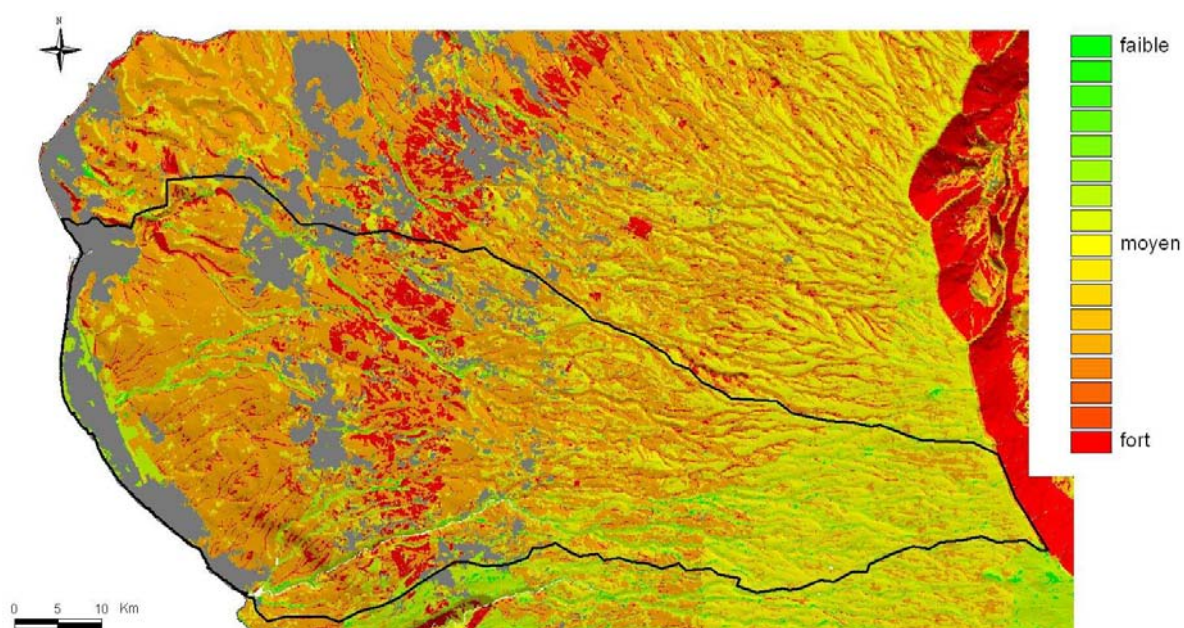


Figure 17 - Carte finale de l'aléa érosion des sols en saison cyclonique

Un rapide calcul de soustraction des valeurs en saison cyclonique entre la grille de 2003 et celle de 1997 permet de préciser l'évolution diachronique. Comme l'indique la figure 18, peu de zones affichent une diminution de l'aléa : la tendance à l'aggravation générale est confirmée.

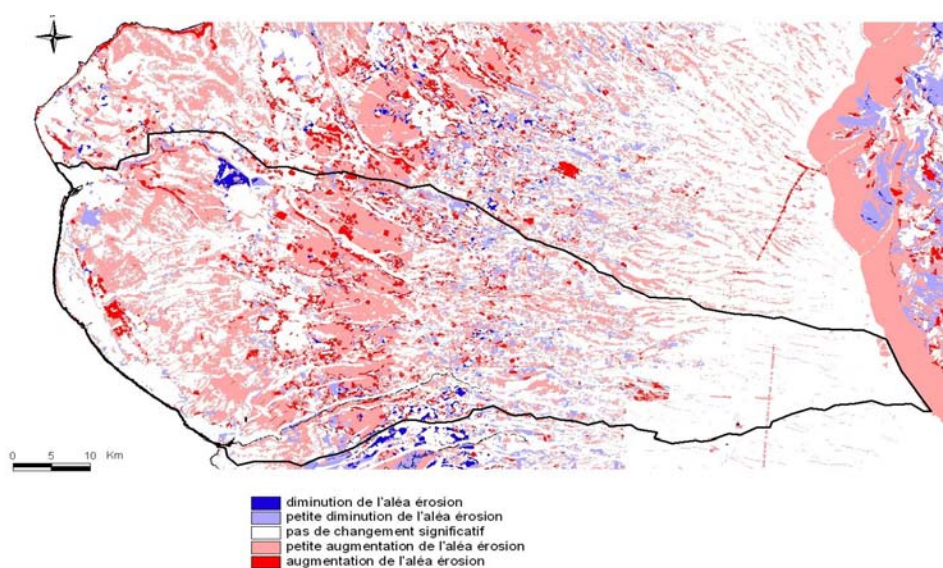


Figure 18 – Evolution 1997-2003 de l'aléa érosion en période cyclonique

Etude 3 : croisant topographie, nature du sol, couverture végétale et pluviométrie extrême

Comme la première, cette troisième étude sur l'érosion a été réalisée dans le cadre d'un master SILAT¹¹. Comme dans l'étude précédente, l'occupation du sol est issue de l'image spot 5 de 2003. Mais ici l'accent est mis sur la spatialisation des pluies extrêmes, supérieures à 15 mm/h, qui seules sont considérées comme actives dans le processus d'érosion. Au total, 17 stations pluviométriques ont été utilisées pour spatialiser la pluviométrie (figure 19).

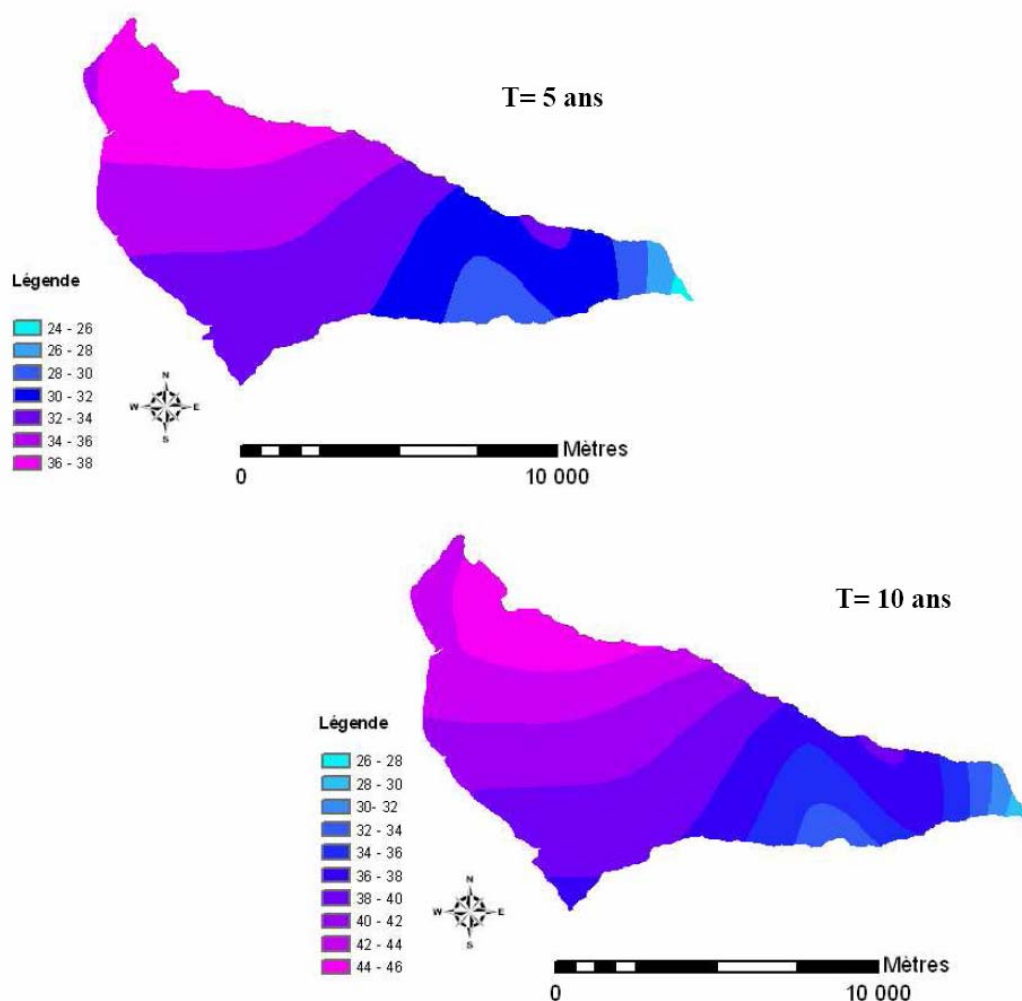


Figure 19 – Cartes des intensités extrêmes de pluie (mm/h) pour les périodes de retour 5 et 10 ans

L'agressivité des pluies se combine à la sensibilité potentielle des terrains à l'érosion (figure 20) pour obtenir l'aléa érosion du sol (figures 21 et 22).

¹¹Batti, A. (2005). Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa «érosion des sols » dans les bassins versants en amont du lagon de St Gilles (île de La Réunion). Montpellier, Master SILAT, rapport final, 54 p.

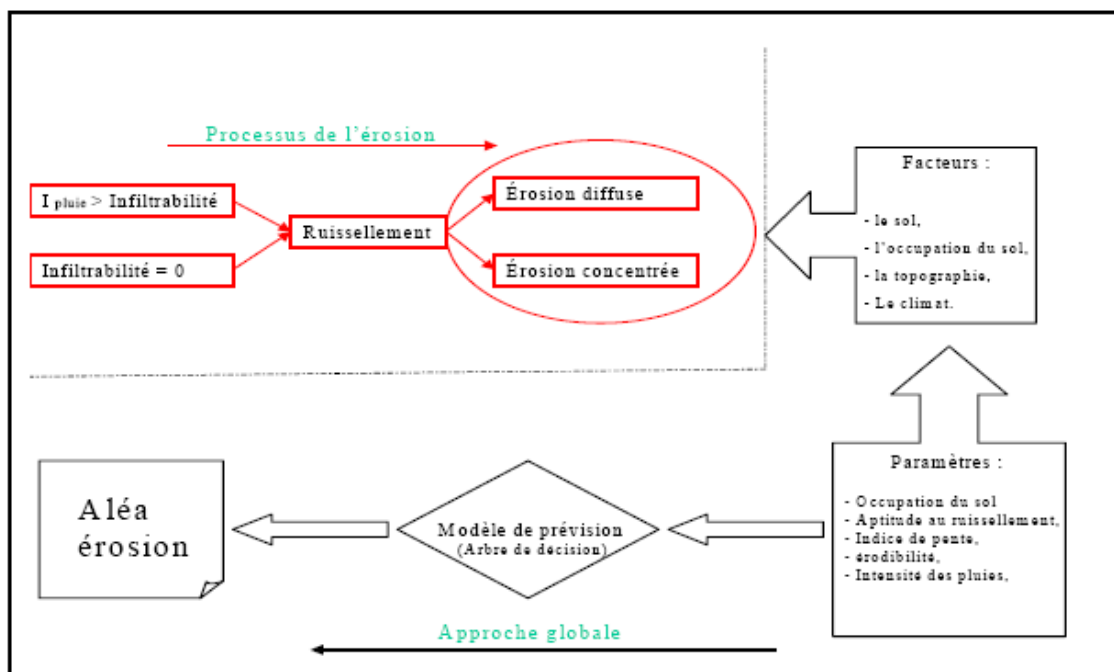


Figure 20 - Approche globale pour la détermination de l'aléa érosion

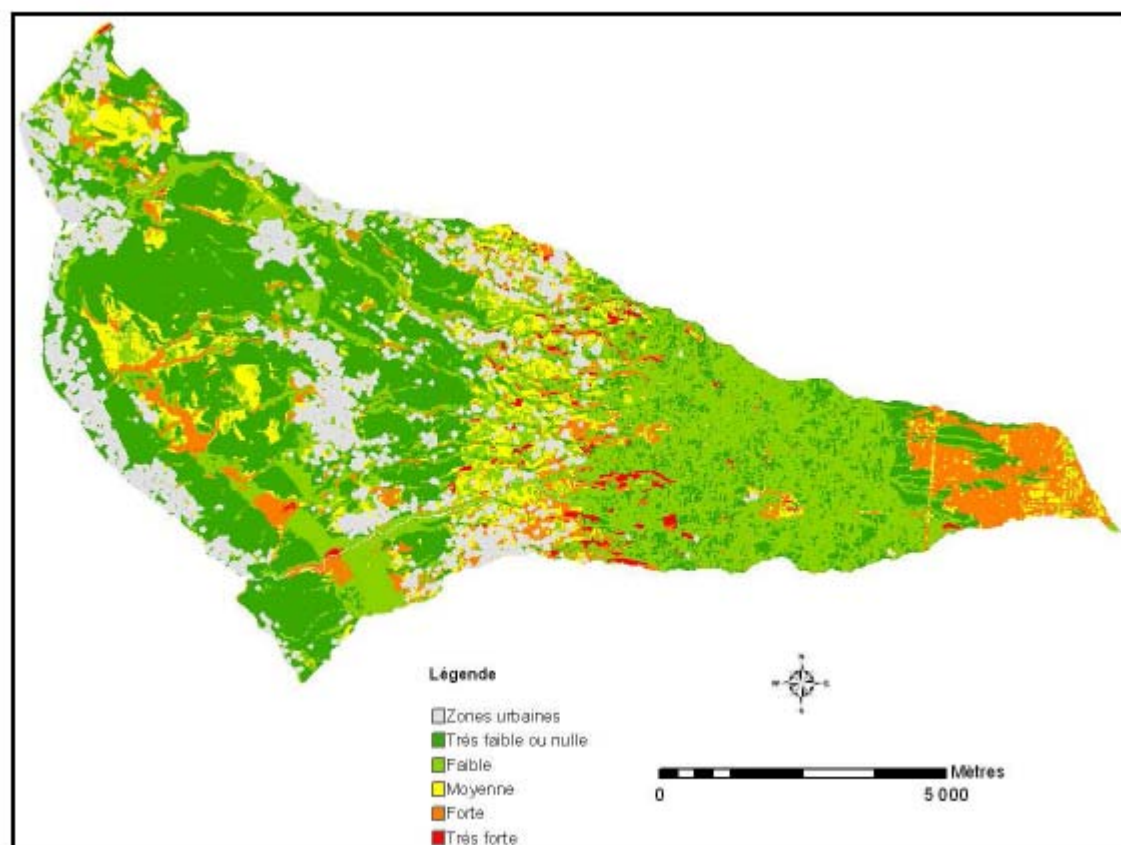


Figure 21 – Sensibilité potentielle des terrains à l'érosion

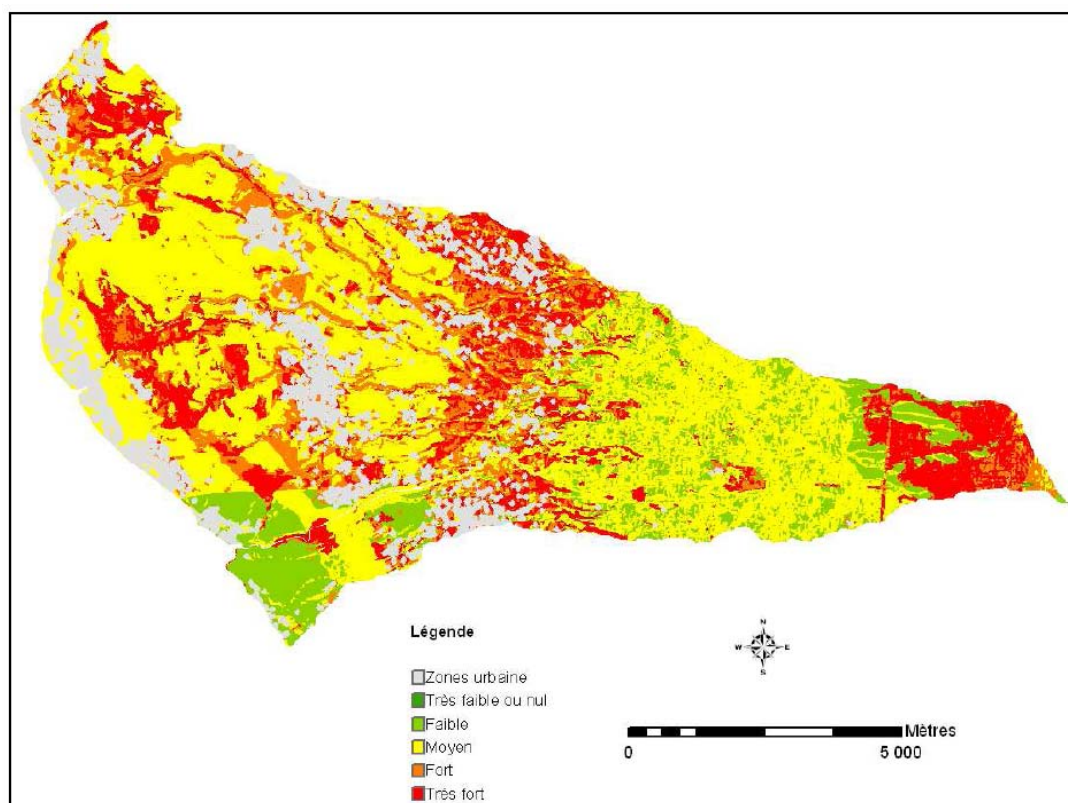


Figure 22 – Carte de l'aléa « Erosion des sols »

L'aspect technique

La construction de ces cartes suit la même logique.

Un modèle théorique et numérique d'érosion a été construit au sein d'un Système d'Information Géographique (Arcview 3.2). Il se base sur le principe d'un contexte morphogénique principalement influencé par l'érosion hydrique (érosion en nappe, en rigole, par ravinement...). Nous avons donc tenté de modéliser les interactions entre les différents facteurs intervenant dans ce type de phénomène.

La première étape a été de constituer une Base d'Information Géographique contenant les différents facteurs (géologie, pédologie, occupation du sol, topographie et climatologie) à partir des données disponibles et de pré-traitements sur les données de base (MNT, reclassifications, regroupements, etc.).

Le type de modèle développé est un modèle cognitif s'inspirant de celui de l'INRA (IFEN, 1998). Il est basé sur la connaissance de terrain d'un collège d'ingénieurs/chercheurs d'organismes présents à la Réunion (en l'occurrence le BRGM, le CIRAD et l'APR), dont le rôle a été de déterminer au sein d'un "arbre de décision" les différents cas d'interactions et de résultats possibles entre les différents facteurs d'érosion.

Dans le cas présent nous avons construit un arbre à partir des données du substratum (géologie issue de la carte BRGM de Billad, 1974 et pédologie issue de la carte CIRAD de Raunet, 1988), de l'occupation du sol (version corrigée de la BD Topo de l'IGN) et des saisons (figures 23 et 24).

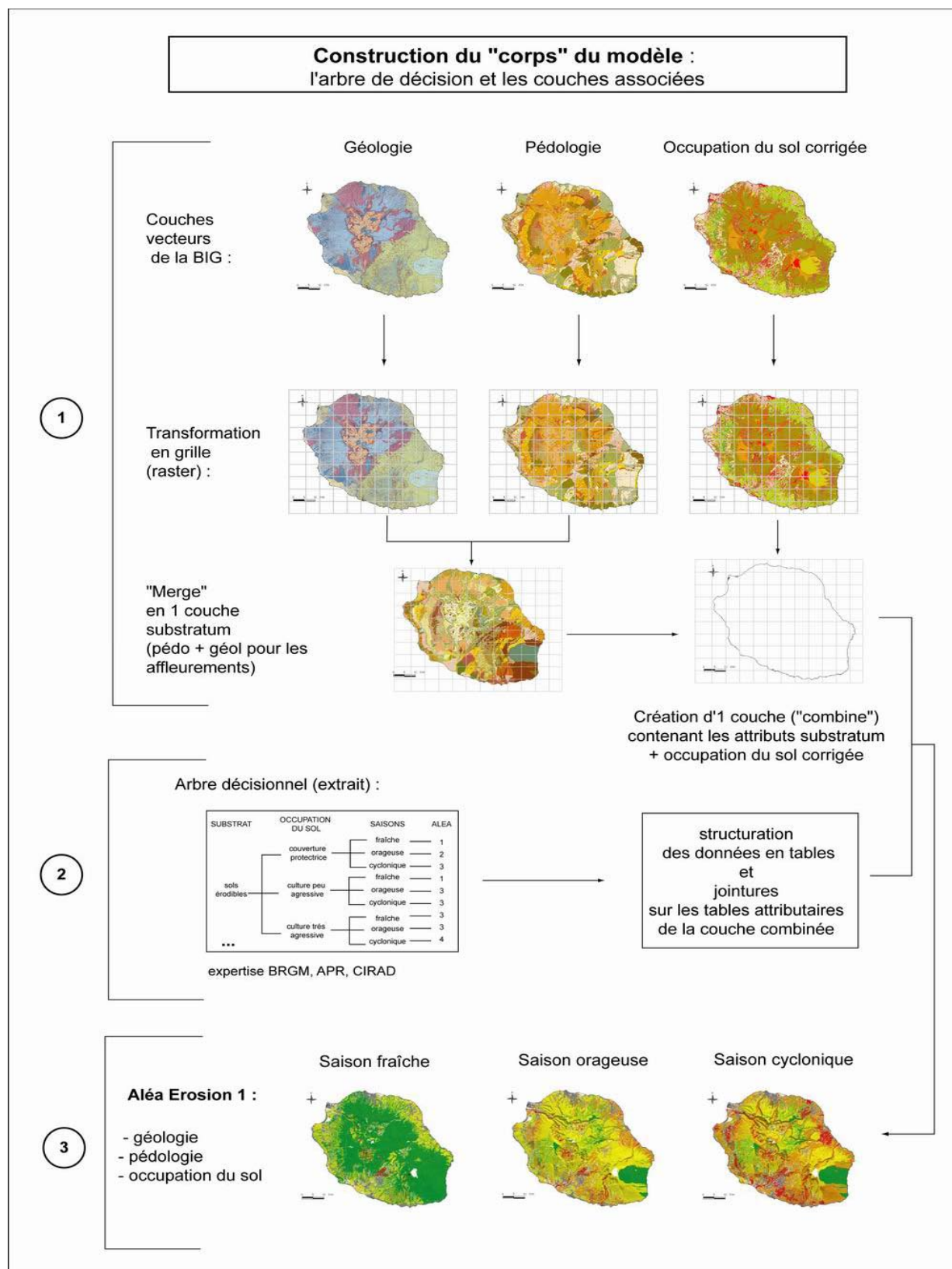


Figure 23 – Première étape dans la construction du modèle

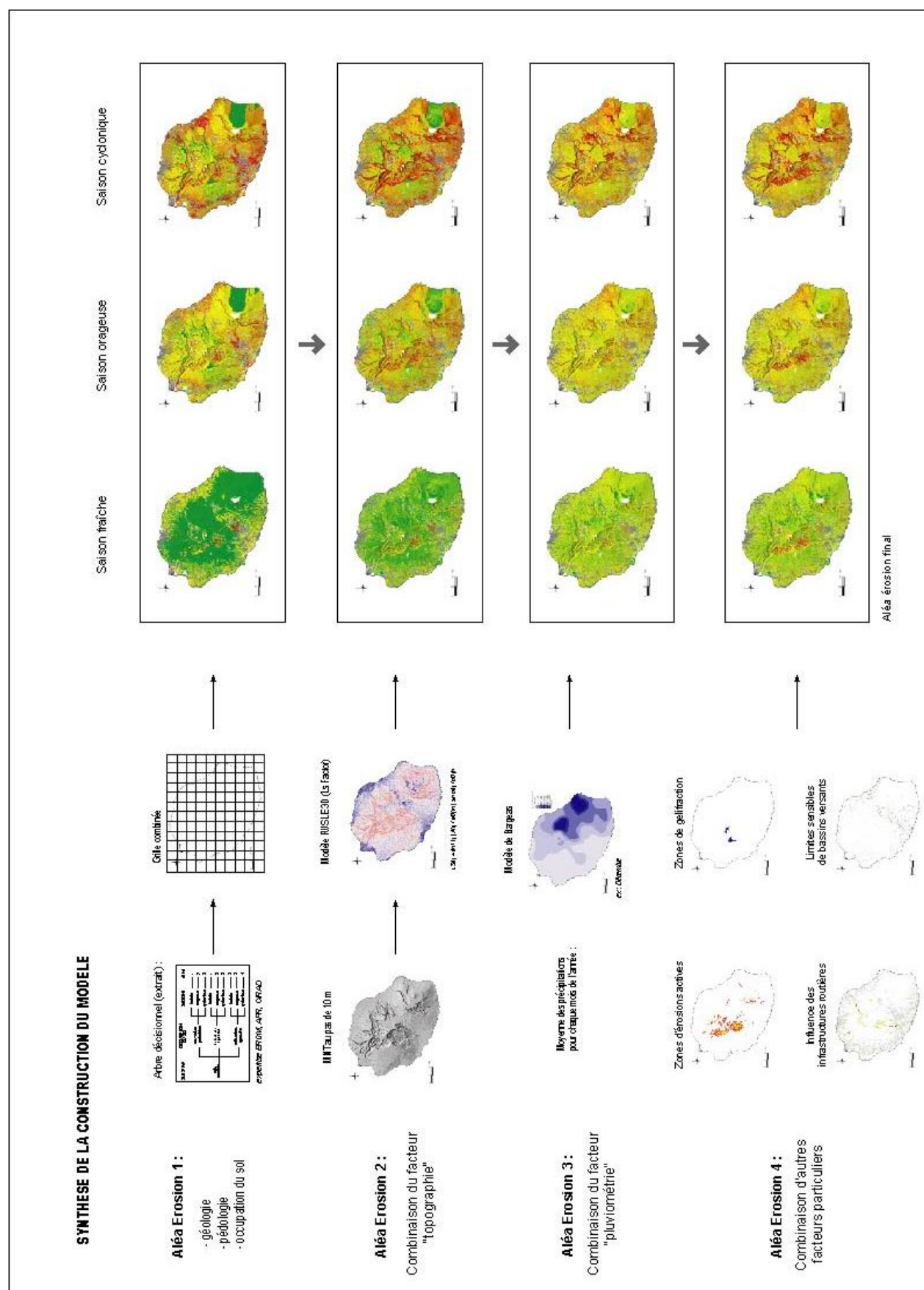


Figure 24 – Synthèse de la méthode utilisée pour la cartographie de l'aléa érosion en 2002

A ce « corps du modèle » nous avons combiné des données relatives à la topographie (facteur Ls du modèle RUSLE3D, issu de Wisheier) et à la pluviométrie (modèle de Bargeas, 1984). Des phénomènes particuliers tels que la gélifraction ou l'impact des infrastructures routières ont finalement été intégrés au modèle (figure 24).

Les produits cartographiques qui en résultent font apparaître la répartition spatiale de l'aléa érosion selon une intensité et une occurrence graduelles en trois saisons (fraîche, orageuse et cyclonique). La carte de la saison cyclonique fait donc office de référence en terme d'aléa maximal. Il convient néanmoins de préciser que les données actuellement disponibles pour alimenter le modèle ne sont pas toujours d'une qualité optimale ("trous" indéterminés dans la couche d'occupation du sol de la BD Topo ou ancienneté des données de pluviométrie par exemple).

Lors de la mise à jour de la carte de 2002, il est apparu que la typologie de l'occupation du sol de la BD Topo (IGN) n'était pas strictement la même que celle utilisée dans la carte AGIL issu de l'image Spot 5. Un recodage de la nouvelle classification a donc été réalisé avec les lexiques de l'étude de 2002 (tableau 4).

Tableau 4 - Mise en correspondance des deux classifications de l'occupation du sol

Nb cellules (10m)	Valeur de grille IRD	Dénomination IRD	Valeur de grille BRGM	Dénomination BRGM
255670	1	Océan	0	
198893	2	Tâche urbaine	28	Urbanisation
4616	3	Plages	10	Sable sec
306529	4	Pâturages	18	Prairie - savane sup 800 m d'altitude
37000	5	Canne à sucre 2	13	Canne à sucre
226553	6	Savane	19	Savane
529148	7	Forêt des Hauts	20	Forêt
13552	8	Forêt des bas	20	Forêt
60081	9	Végétation buissonnante	5	Zone de friches
88311	10	Ombres	21	Trous inidentifiés
196255	11	Végétation de rempart	20	Forêt
242949	12	Canne à sucre DAF	13	Canne à sucre
125079	13	Forêt des Hauts 2	20	Forêt
36365	14	Sols nus	14	Zone d'érosion active
90438	15	Reboisements	20	Forêt
22339	16	Forêt à l'ombre	20	Forêt
182825	17	landes éricoidales	4	végétation éricoidale
129	18	Eau, bassins	0	
4063	19	vergers, arboriculture, maraîchage	6	Verger
16161	20	Nuages	0	

Recommandations

Si la réalisation de ces cartes d'aléa présente un intérêt certain quant à la relation entre occupation du sol et impact érosif, il advient d'être prudent en terme de comparaison diachronique. Il reste, en effet, difficile de constater précisément sans vérification de terrain si l'évolution observée entre deux dates est bien réelle ou s'il s'agit d'un problème de reclassification entre les « deux » occupations du sol.

Les données d'occupation du sol n'ayant pas été acquises selon les mêmes méthodes, il n'est pas toujours possible de trouver les correspondances entre les typologies présentées. Par exemple : la « végétation buissonnante » (IRD) a été associée aux « friches » (IGN), ce qui

peut paraître restrictif (il y a des friches qui ne sont pas que buissonnantes et inversement il y a des zones de végétation buissonnante qui ne sont pas des friches...).

Ainsi, outre les informations qu'elle apporte sur la zone, cette étude met en exergue sur le plan méthodologique les potentialités de l'outil SIG à produire une plus-value d'informations à partir de données existantes mais aussi ses limites à mettre en cohérence sémantique et géométrique des données hétérogènes, d'origine et de nature diverses.

3.2.6. Bathymétrie des petits fonds dans le lagon

Thématique décrite

Cette bathymétrie porte sur la dépression d'arrière récif, zone de 50 à 200 m de large du récif frangeant de La Saline. Pour la réaliser, un capteur aéroporté de type CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) a été employé.

Caractéristiques du capteur CASI

Le capteur utilisé pour la campagne d'acquisition fait partie de la génération du radiomètre embarqué DADELUS Airborne Thematic Mapper (ATM). Ce radiomètre est équipé d'une ligne de capteur de catégorie « pushbroom » qui couvre un spectre de longueur d'onde allant de 423 nm à 946 nm large des longueurs d'onde variant autour de 1,8 nm). L'ordinateur couplé au CASI enregistre des données ainsi qu'une variété d'autres paramètres issus de capteurs placés sur le vecteur (dans notre cas sur l'avion). Ces paramètres concernent les mouvements de l'appareil, l'illumination directe ou réfléchie, le positionnement géographique précis (GPS différentiel)... L'altitude de l'appareil pour cette campagne était d'environ 2 000 m afin d'obtenir un pixel carré de dimension de côté 2 m. A cette altitude la fauchée est d'environ 1 000 mètres.

Le logiciel utilisé pour l'exploitation des images CASI

L'interface ENVI d'IDL a permis uniquement la visualisation en 3 dimensions du résultat final. Tous les traitements ont été effectués sous IDL. Ces programmes ont été développés par A. Minghelli et adaptés ici en fonction du type d'image (longueurs d'onde...). Les statistiques sur les résultats sont également issues de la programmation sous IDL.

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

Une bathymétrie a été réalisée par GPS différentiel (DGPS) et théodolite par le BRGM sans information sur la précision des points relevés. Celle-ci a été testée sur quelques points de la bathymétrie obtenue par imagerie CASI mais aucun point ne correspond. Des écarts de plusieurs mètres ont été relevés. Nous nous sommes donc servi des quelques points que nous avons nous même relevés sur le terrain à l'aide de DGPS. En dehors de ce produit, aucune donnée bathymétrique n'existe sur les petits fonds dans cette zone d'étude.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation (méthode)

En premier lieu, les images utilisées sont enregistrées sur 19 longueurs d'onde essentiellement concentrées sur la partie bleu et vert du spectre électromagnétique. Par la suite, ces images ont été corrigées des effets atmosphériques grâce aux valeurs enregistrées par une cellule à sphère intégrative fixée sur l'avion et mesurant la luminance au cours de l'acquisition des images. Ensuite, une correction géométrique a été faite en prenant comme repère des points remarquables au sol géoréférencés par DGPS ainsi que des points récupérés sur les orthophotos IGN scannés. La précision de la géocorrection est de 4 m en moyenne.

La méthode utilisée pour obtenir la bathymétrie (Despinoy *et al.*, 2003) utilise des référentiels immergés (figure 25) à différentes profondeurs (- 1 m ; - 5 m ; - 10 m ; - 15 m) sur une zone à pente régulière. A partir de ces bâches, il suffit d'analyser l'atténuation du signal créée par la colonne d'eau en ces points.

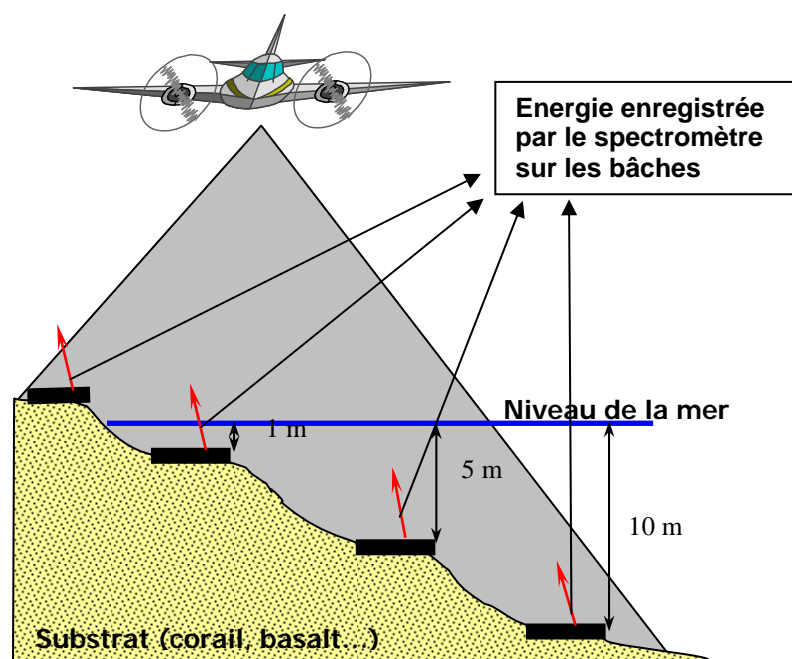


Figure 25 : Schéma de montage

En d'autres termes, on analyse la modification de la couleur des fonds marins par la colonne d'eau. La formule utilisée décrite par Lyzenga est la suivante :

$$\frac{R_{\text{surface}} - R_{\text{eau}} \cdot (1 - e^{-2Kz} + R_{\text{eau}})}{e^{-2Kz}}$$

Où :

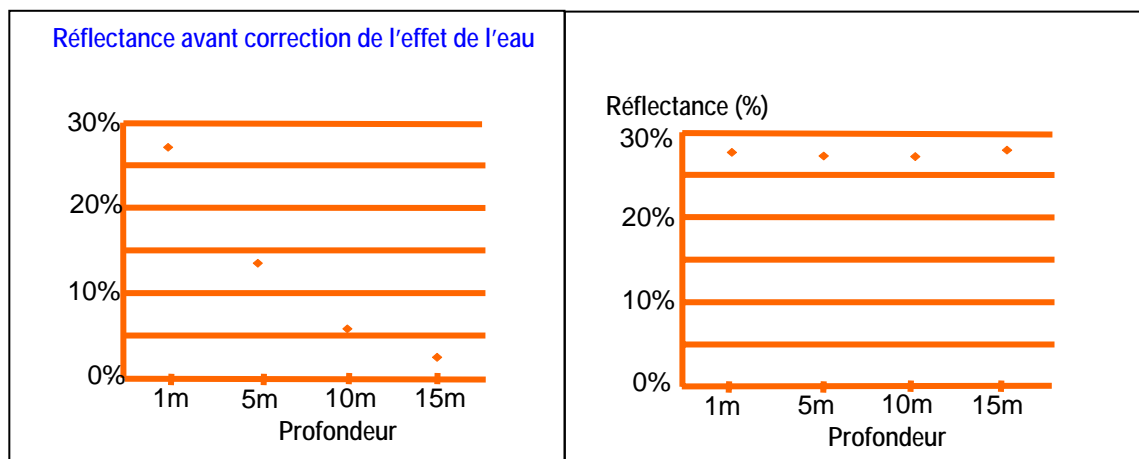
K = coefficient d'atténuation

z = profondeur

R = Réflectance (ou luminance qui est proportionnelle à la Réflectance et qui est exprimée en $\text{nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$)

Un Masque est appliqué à la partie terrestre pour disposer d'une image concernant uniquement la zone récifale. La réflectance de l'eau est récupérée sur les pixels au large du platier (pixel foncé concernant des zones maritimes à profondeurs supérieures à 50 m). La réflectance de la surface est la réflectance du pixel considéré. Le coefficient d'atténuation k est l'inconnue. La profondeur z est connue pour les bâches immergées. L'équation peut alors être résolue et les coefficients d'atténuation sont interpolés entre les différentes bâches.

Une fois le coefficient d'atténuation connu pour les différentes profondeurs, on peut en déduire la profondeur (z) et déterminer une équation de corrélation entre les deux. Par la suite, on utilise ces équations pour la totalité de l'image. Ce qui nous permet d'obtenir la bathymétrie.



Le produit final consiste en une carte bathymétrique du lagon en 3 D (figure 26).

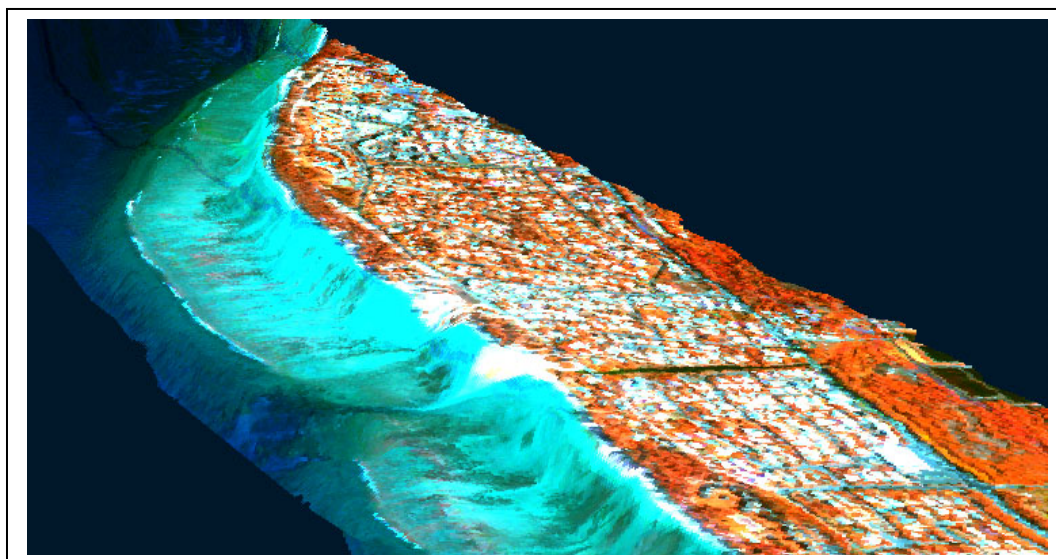


Figure 26 : Carte bathymétrique du lagon de la Réunion en 3 D

L'aspect technique

La mise en place des bâches immergées a été réalisée grâce à l'aide du Parc Marin et de ses « éco-gardes ». Avant immersion, nous avons réalisé une prise d'échantillon par radiomètre hors eau sur ces dernières. Elles ont ensuite été immergées à différentes profondeurs en choisissant une météo la plus clémente possible afin d'éviter les problèmes d'installation dus au courant et aux particules en suspension. Néanmoins, une fois les bâches installées, la météo n'a pas été bonne pendant les 24 heures qui ont suivi leur fixation et une mer agitée a emporté une des bâches posées, celle fixée à 20 m. Après l'acquisition des images par le CASI, les bâches ont été retirées.

Recommandations

Choisir le moment (météo clémente) pour avoir une mer calme et ainsi éviter au maximum la présence de matières en suspension dans l'eau et les rides à la surface de l'eau. Afin d'optimiser la méthode, une correction des effets de réflexion spéculaire est possible en utilisant le canal du proche infrarouge.

3.2.7. Dynamique du trait de côte

Thématique décrite

Une étude a été réalisée sur l'évolution du tracé du trait de côte en milieu récifal et hors de ce milieu, la zone sélectionnée étant le littoral de la commune du Port, marqué dans sa partie septentrionale par une forte anthropisation et dans sa partie méridionale par les apports de la rivière des galets qui dessine un cône de déjection à son embouchure (figure 27).

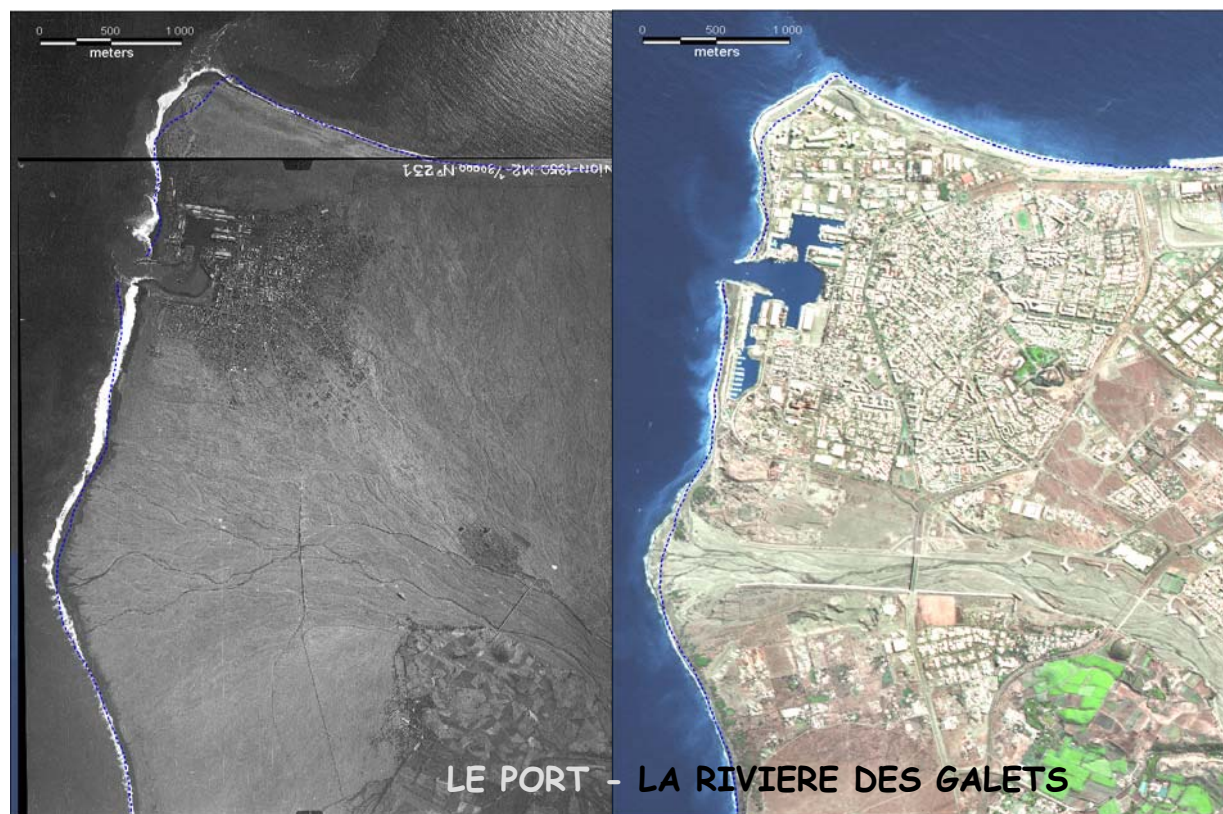


Figure 27 – Le littoral de la commune du Port en 1950 (gauche), 1989 (tiret bleu sur les deux images) et en juillet 2002 (droite)

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

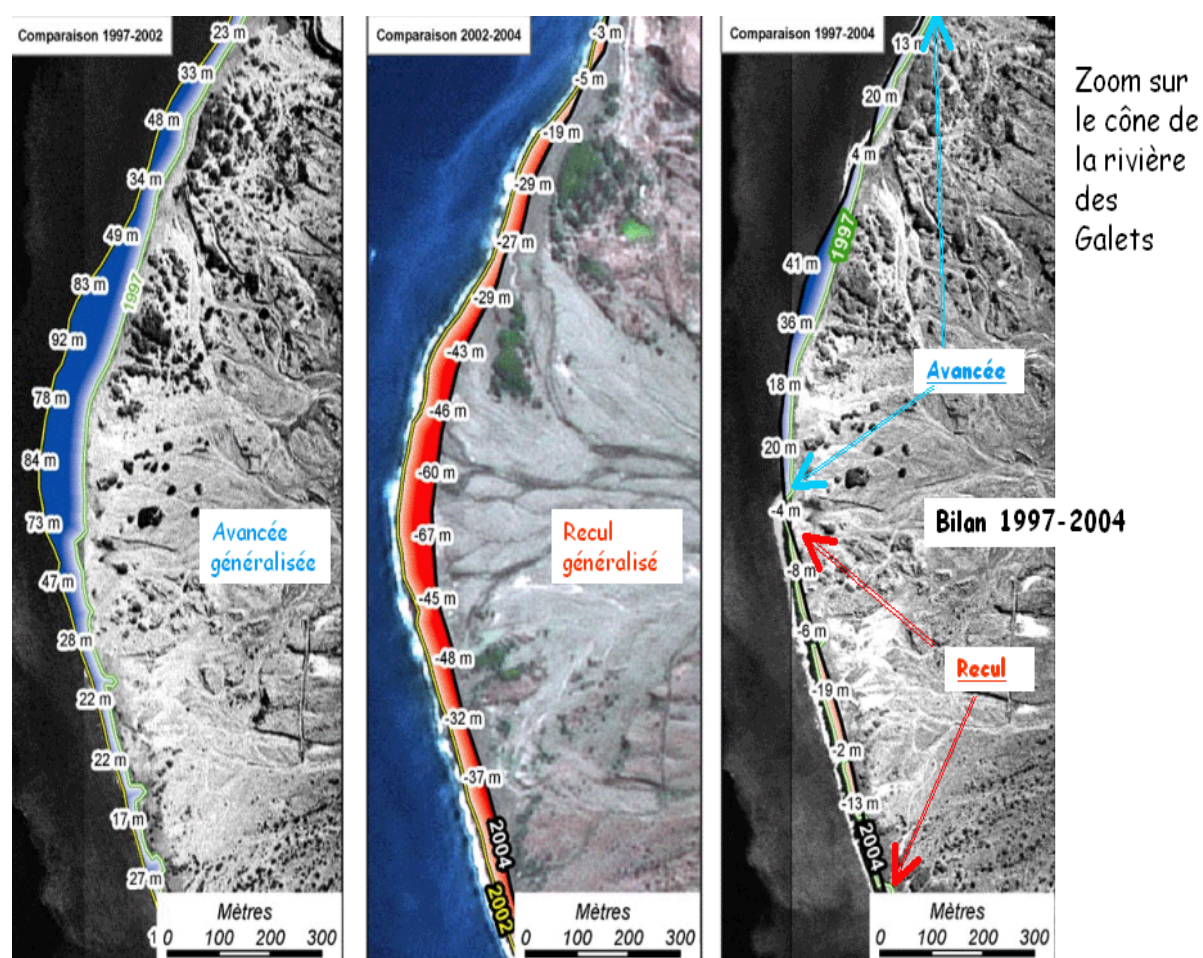
Le suivi de l'évolution du trait de côte est une application courante de la télédétection satellitaire sur les littoraux soumis à une érosion intense. Dans les sites d'érosion modérée à faible comme à la Réunion, la photographie aérienne a toujours été préférée, en raison de la

faible résolution spatiale offerte par les images Spot 1 à 4. Le lancement de satellites à très haute résolution comme Spot 5 a modifié cette « donne ». La présente étude est la première qui ait été mise en œuvre à la Réunion en couplant une image satellite et des photographies aériennes anciennes pour suivre l'évolution du trait de côte.

En zone corallienne, où l'érosion est très faible, l'action des scientifiques est axée sur le suivi des profils de plage pour évaluer leurs enrichissements ou amaigrissements et se fait avec des moyens classiques d'observation au sol (théodolite).

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation (méthode)

Deux produits ont été réalisés. Le premier porte sur la comparaison du trait de côte de l'ensemble de la commune du Port entre 1950, 1989 et 2002 (figure 27). Le second est focalisé sur l'embouchure de la rivière des Galets dont l'évolution du tracé est étudiée sur la période 1997-2004 à trois pas de temps différents : 1997-2002 / 2002-2004 / 1997-2004 (figure 28).



Février 2005

Évolutions de la position du trait de côte



Figure 28- Evolution de la position du trait de côte à l'embouchure de la rivière des galets de 1997 à 2004

Au total, trois jeux de données ont été utilisés :

- des photographies aériennes mosaïquées de 1950 et 1989,
- des orthophotographies de 1997 à 50 cm de résolution, acquises dans le cadre de la BD Topo,
- deux images SPOT THR de 2002 et 2004 en supermode (2,5 m de résolution).

L'association de photographies aériennes et d'images satellites THR a également été testée sur le littoral récifal. La résolution au sol s'avère nettement insuffisante pour cartographier l'évolution du trait de côte. Ce résultat est particulièrement instructif car il démontre le rôle antiérosif de la barrière corallienne.

Recommandations et commentaires

En définitive, la présente étude a confirmé que dans les zones soumises à une érosion intense la THR était bien adapté à la cartographie de l'évolution du trait de côte du fait de la fréquence d'acquisition des images et de leur faible coût qui permettent une actualisation régulière. En revanche, de nombreuses limites demeurent.

D'une part, la résolution à 2,5 m limite l'observation à des changements d'ampleur majeure (>5 m), elle n'est donc pas adaptée au suivi du trait de côte des plages coralliennes.

D'autre part, la fréquence d'acquisition des images sur l'ouest de la Réunion est insuffisante pour espérer suivre la dynamique infra annuelle, notamment les conséquences des événements climatiques paroxysmiques comme les cyclones.

Il est donc recommandé que cette fréquence d'acquisition soit accrue dans le cadre de la BD Isle et que des programmations prioritaires puissent être faites après le passage des cyclones ayant frappé l'île.

3.2.8. Cartographie de la vitalité récifale

Thématique décrite

Dans la continuité des travaux précédemment menés, le milieu marin, et plus particulièrement récifal, a été l'occasion d'explorer les potentialités du satellite Spot dans le domaine du suivi de la dynamique des récifs coralliens. La finesse des informations nécessaire à l'exploration et à l'étude de ce milieu faisait des photographies aériennes orthorectifiées un support incontournable bien que rigide et onéreux. La logistique allant de paire rendait effectivement la mise à jour des informations compliquée et extrêmement chère. La fréquence d'acquisition des images Spot ainsi que leur mise à disposition gratuite auprès des instituts de recherche à la Réunion (via la BD Isle) a naturellement incité les chercheurs à tester les possibilités de ces dernières pour seconder, voire compléter les orthophotos dans leur rôle de support d'analyse des milieux récifaux. Ces recherches ont été menées en plusieurs étapes, au gré de l'évolution des outils d'observation de la terre et d'analyse des images satellites.

Avec l'apparition des images Spot 5, la société Spot Image a développé des produits performants regroupés sous le nom de « Supermode ». On distingue les images Spot Supermode en noir et blanc de celles en couleurs. En effet, le Supermode noir et blanc est obtenu grâce à la fusion de deux images Spot 5 (au pas de 5 m.) acquises simultanément. Cette opération permet d'obtenir une image panchromatique échantillonnée à 2,5 m. Pour la couleur, la manipulation est plus complexe. Il s'agit, cette fois-ci, de fusionner trois images différentes acquises simultanément. Les deux premières sont en mode panchromatique à 5 m. et permettent d'obtenir une image panchromatique à 2,5 m. La troisième est une image en

mode multispectral à 10 m. La fusion de ces trois scènes aboutit à une image couleur dont la résolution se rapproche de 2,5 m.

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

La protection et la conservation des récifs coralliens à la Réunion, comme ailleurs, passe par une bonne connaissance de leur nature, de leur répartition, des processus qui assurent leur pérennité et, au contraire, ceux qui tendent à les détruire. L'imagerie satellitaire s'affiche comme l'une des nouvelles pistes de recherche à privilégier dans ce domaine. Son utilisation pour l'observation des récifs coralliens a débuté il y a une trentaine d'années. Durant cette période, des méthodologies spécifiques à l'étude de ces milieux ont été développées mais les résultats sont longtemps restés limités par l'inadéquation de la résolution spectrale et spatiale des capteurs les plus courants (HRV de SPOT1 à SPOT4, Thematic Mapper de Landsat). Depuis quelques années, l'apparition de capteurs à très haute résolution spatiale (THR) ouvre de nouvelles potentialités d'observation des récifs coralliens. Cependant, toutes les possibilités offertes par ces nouveaux capteurs n'ont pas encore été entièrement explorées.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation (méthode)

a) La première étape de nos recherches est une observation multi-temporelle du lagon de l'Hermitage-La Saline (1987, 1989, 1990, 1995, 2000, 2001)¹². Cette étude repose sur l'analyse d'images Spot 1, 2, 3 et 4 et du logiciel Erdas. Composée de 6 cartes, elle a pour objectif de proposer un suivi de la géomorphologie récifale (figure 29). Compte tenu de la faible résolution des images (20 m pour des pixels mixtes) et de la largeur réduite du lagon, inférieure à 500 m, seules quatre entités géomorphologiques ont été cartographiées : le platier récifal¹³, les surfaces recouvertes par du biodétritique fin, celles recouvertes par du biodétritique grossier et les entités résiduelles qui correspondent au front récifal et à la plage.

¹² Lebourgeois V (2003) rapport de maîtrise.

¹³ L'appellation « platier récifal » doit être utilisée avec précautions. Le manque de précisions des images et la faible étendue du lagon de La Réunion expliquent que le travail ait été mené sur des pixels mixtes ne permettant pas de différencier la bionomie de la géomorphologie. La classe « platier récifal » englobe donc les constructions coralliennes vivantes, mortes mais aussi les surfaces colonisées par des algues.

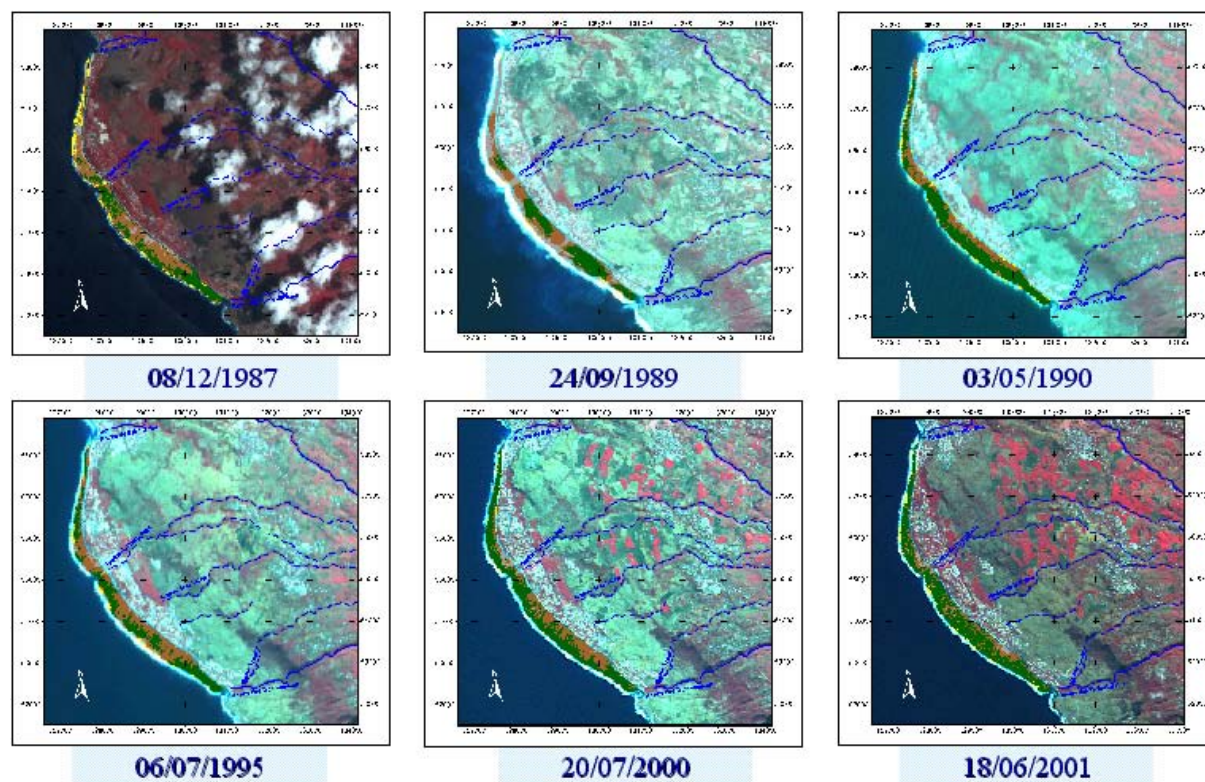


Figure 29 – Evolution multi-temporelle du lagon de la Réunion de 1987 à 2001.

La comparaison multi-temporelle doit être faite avec précautions puisque les informations ont été recueillies à des saisons différentes. Le choix des 6 images a, en effet, été conditionné par différents facteurs qui expliquent que les dates des prises de vue ne soient pas régulières. La couverture nuageuse et l’empreinte des satellites (fauchée) ne couvrant pas la totalité de la zone d’étude ont été autant de raisons à l’origine de la mise à l’écart de nombreuses images. C’est donc par défaut que ces 6 images ont été retenues.

Ces contraintes expliquent qu’il est délicat de tirer des conclusions sur l’évolution de l’emprise du platier récifal lorsque les observations sont tantôt en hiver austral tantôt en été austral. On connaît l’influence de la saison des pluies et des événements cycloniques sur son évolution. L’image de 24/09/89 a, par exemple, été prise 8 mois après le passage du cyclone Firinga. La répartition spatiale des surfaces chlorophylliennes et des éléments biodétritiques laisse aisément imaginer la violence du ruissellement et de l’érosion sur les bassins versants ainsi que le rôle canalisateur des ravines qui viennent se déverser dans le lagon avec leur lot d’eaux douces chargées en matières terrigènes dévastatrices pour les coraux.

De la même manière, la faible résolution de ces images satellites ne permet pas de dire si, au sein de la classe platier récifal, c’est l’emprise spatiale des coraux vivant qui augmente de 1995 à 2001 ou si c’est celle des algues, ce qui aboutirait à des résultats totalement contradictoires.

b) La seconde étape de notre recherche a permis d’améliorer les résultats obtenus précédemment. La mise à disposition d’une image Spot 5 couleur supermode© présentant une résolution proche de 2,5 m. a effectivement ouvert de nouvelles perspectives en matière d’identification d’entités récifales homogènes grâce à l’imagerie satellitaire. Une première classification non-supervisée a permis d’identifier 20 types d’objets différents. Une seconde classification, cette fois ci supervisée, a permis de les redistribuer en sept groupes d’objets de signature spectrale proche. On aboutit donc à une nomenclature bien plus détaillée que la

précédente. La résolution plus fine des images Spot 5 permet notamment de distinguer le développement algal du platier récifal (figure 30).

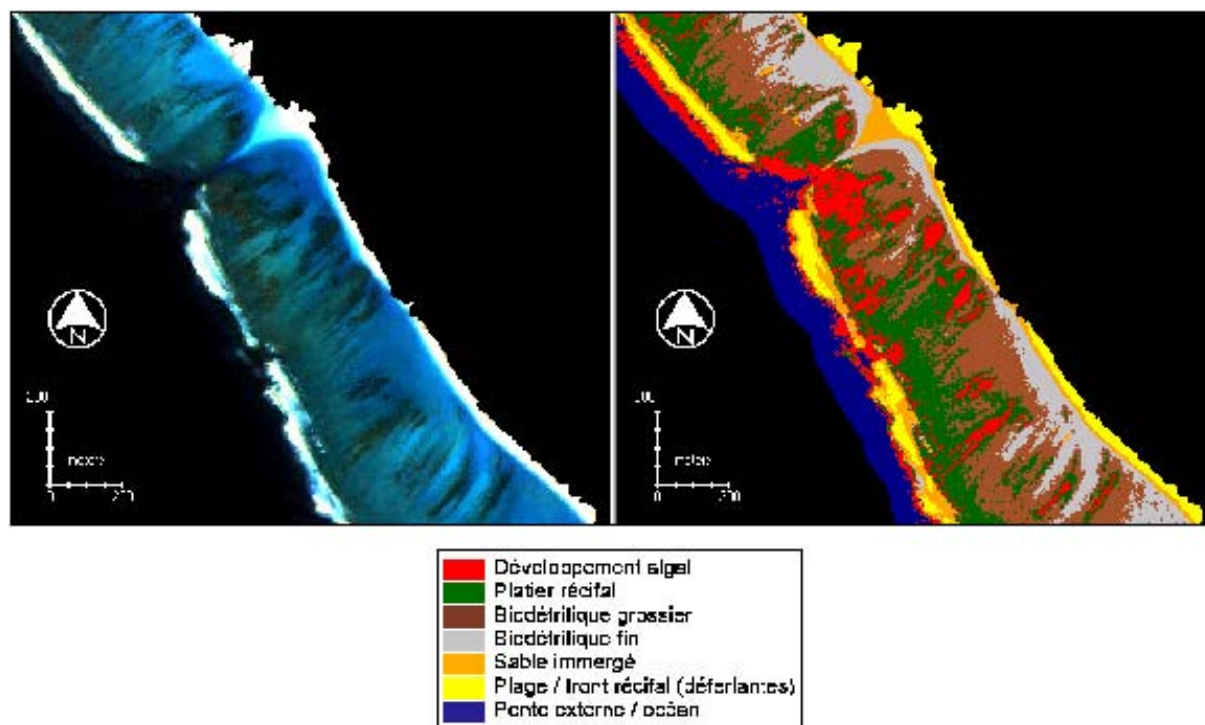


Figure 30 – Le lagon de la Réunion, classification géomorphologique et bionomique simplifiée

L'utilisation du satellite Spot à la Réunion pour la délimitation d'entités récifales homogènes reste cependant limitée. La résolution des images Spot THR s'avère trop grossière pour la taille réduite du lagon : elle ne permet toujours pas d'effectuer des distinctions bionomiques et géomorphologiques au sein même de la classe « platier récifal » et dans ces conditions on ne peut prétendre à une précision plus importante des informations.

c) La troisième étape a consisté à tester une méthode pour le suivi de la dynamique des récifs coralliens reposant sur l'utilisation d'images Spot 5, d'une campagne d'orthophotos acquises par le Parc Marin et des nouvelles méthodes d'analyse d'images offertes par le logiciel eCognition. Les avantages et les limites du satellite Spot pour le suivi de la dynamique récifale ayant été identifiés au cours des deux premières étapes, notre recherche s'est orientée, dans un troisième temps, vers un nouvel objectif :

Il ne s'agit plus de tester les potentialités en matière de résolution spatiales et d'identification d'objets des images Spot car la précision des orthophotos reste bien plus grande (10 cm.). Il s'agit de tester une méthode qui permette d'optimiser le suivi régulier de la dynamique récifale tout en limitant les coûts de la mise à jour. Cette méthode repose sur la finesse des informations procurées par les orthophotos, et sur la souplesse et la disponibilité des images Spot THR (BD ISLE) pour la mise à jour et le suivi dans le temps. Elle s'organise en plusieurs étapes (Figure 31).

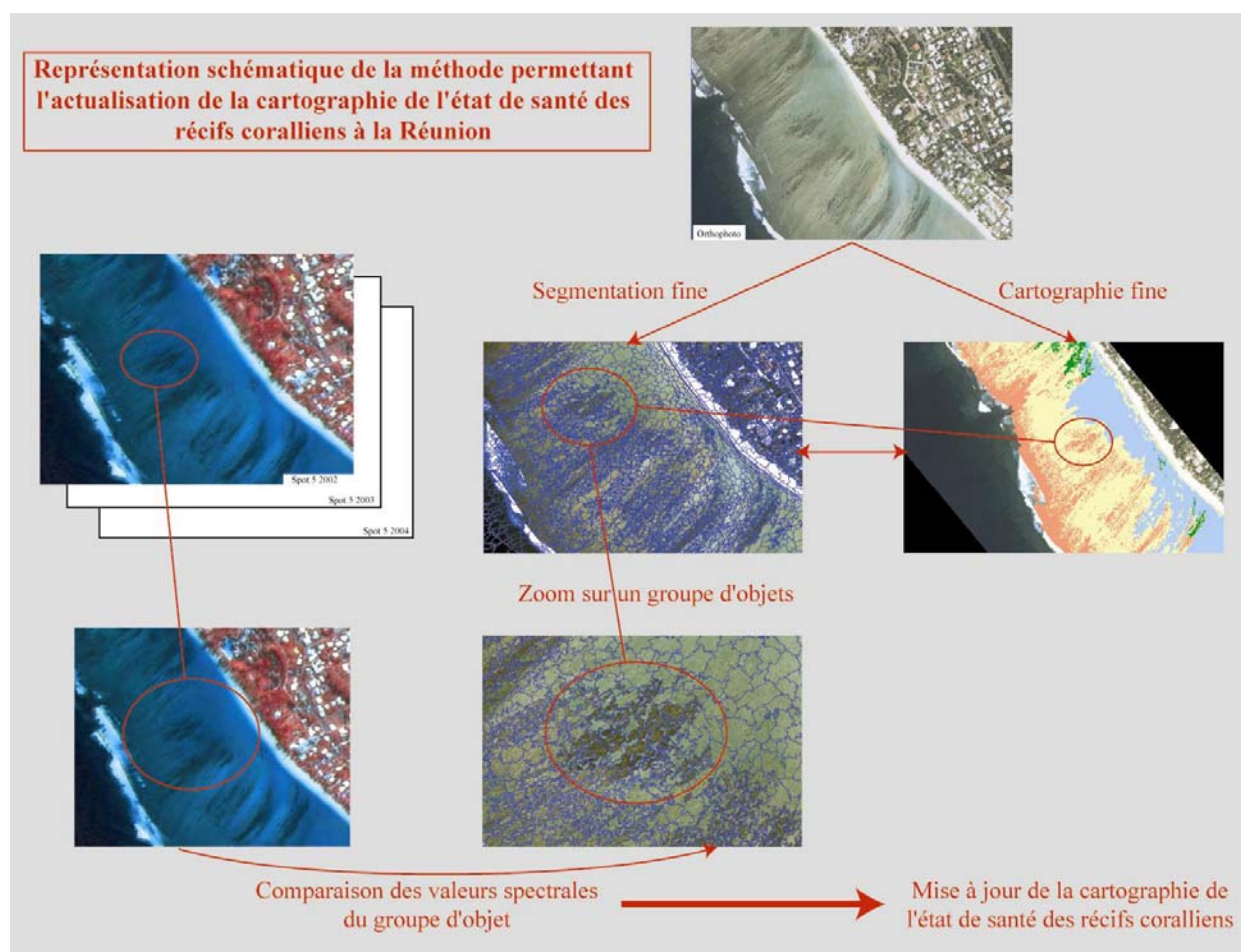


Figure 31 – Méthode employée pour actualiser l'information portant sur le milieu récifal issue d'orthophotos par Spot 5

- Il s'agit tout d'abord de réaliser une cartographie fine du lagon à partir de l'analyse des orthophotos à l'aide du logiciel de traitement d'images « orienté-objet » eCognition.
- Cette cartographie, accompagnée d'une segmentation fine de l'image, permet de délimiter et d'identifier des groupes d'objets récifaux homogènes dont l'état de santé (blanchissement) pourra être suivi dans le temps.
- Il convient ensuite de repérer ces groupes d'objets sur la série d'images Spot et de relever leurs valeurs spectrales à chaque date.

Comme pour tout suivi multi-temporel, il est primordial de disposer d'un état de référence du milieu étudié. Il s'agit, en effet, de s'assurer que l'on dispose bien d'une image Spot 5 prise à la même date que celle de la campagne d'orthophotos. Cette condition est une garantie pour la fiabilité du suivi dans le temps puisqu'elle offre la possibilité de comparer les valeurs spectrales d'une entité récifale par rapport à un état 0 (la valeur initiale lors du commencement du suivi) et permet d'évaluer les changements réels de celle-ci au cours des mois et des années.

Cette méthode n'a pu être validée pour plusieurs raisons. Il n'existe pas assez d'images Spot 5 supermode© disponibles sur la BD Isle qui couvrent le lagon, et ce depuis 2003 (date de la campagne d'acquisition des orthophotos). Or une procédure de suivi de l'état de santé du récif demande une série d'images prises à des intervalles relativement réguliers. De plus, la

procédure d'acquisition de ces images doit être souple pour permettre d'en commander facilement lors d'évènements majeurs tels que des cyclones ou des phénomènes de blanchissement. Cependant aucune image n'a été acquise durant les périodes de blanchissement corallien en 2005.

L'espoir repose sur le projet de création d'une antenne de réception de plusieurs satellites (Spot 4 et 5, Envisat,...) à l'Université de la Réunion qui permettrait de programmer les acquisitions d'images en fonction des besoins. La souplesse d'acquisition des images Spot offrirait aux personnes chargées de la gestion et de la protection du milieu récifal un outil puissant de connaissance quasiment en temps réel.

L'aspect technique

a) La première étape de notre recherche autour de la pertinence de l'outil satellite pour l'étude du milieu corallien à la Réunion a fait l'objet d'une cartographie comparative sur 6 dates de la géomorphologie du lagon. La méthode suivie a donc été la même pour l'ensemble des images¹⁴ (Figure 32).

Les prétraitements apportés aux images ont porté sur les corrections géométriques, radiométriques et sur la correction des effets de l'atmosphère. Trois facteurs ont un effet perturbateur sur la radiométrie :

- les bruits d'enregistrement du capteur,
- les conditions d'acquisition (position du soleil, irradiance solaire),
- les effets atmosphériques.

Les corrections radiométriques (réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle qui serait mesurée sur le terrain, calibrage des effets capteur et des conditions d'acquisition) et atmosphériques ont permis de limiter ces effets perturbateurs et de normaliser les images.

¹⁴ Pour plus de détails concernant la méthode suivie, se référer au rapport *Etude de la dynamique géomorphologique du récif frangeant de Saint-Gilles / La Saline, île de La Réunion, par télédétection satellitaire*, V. Lebourgeois (2003)

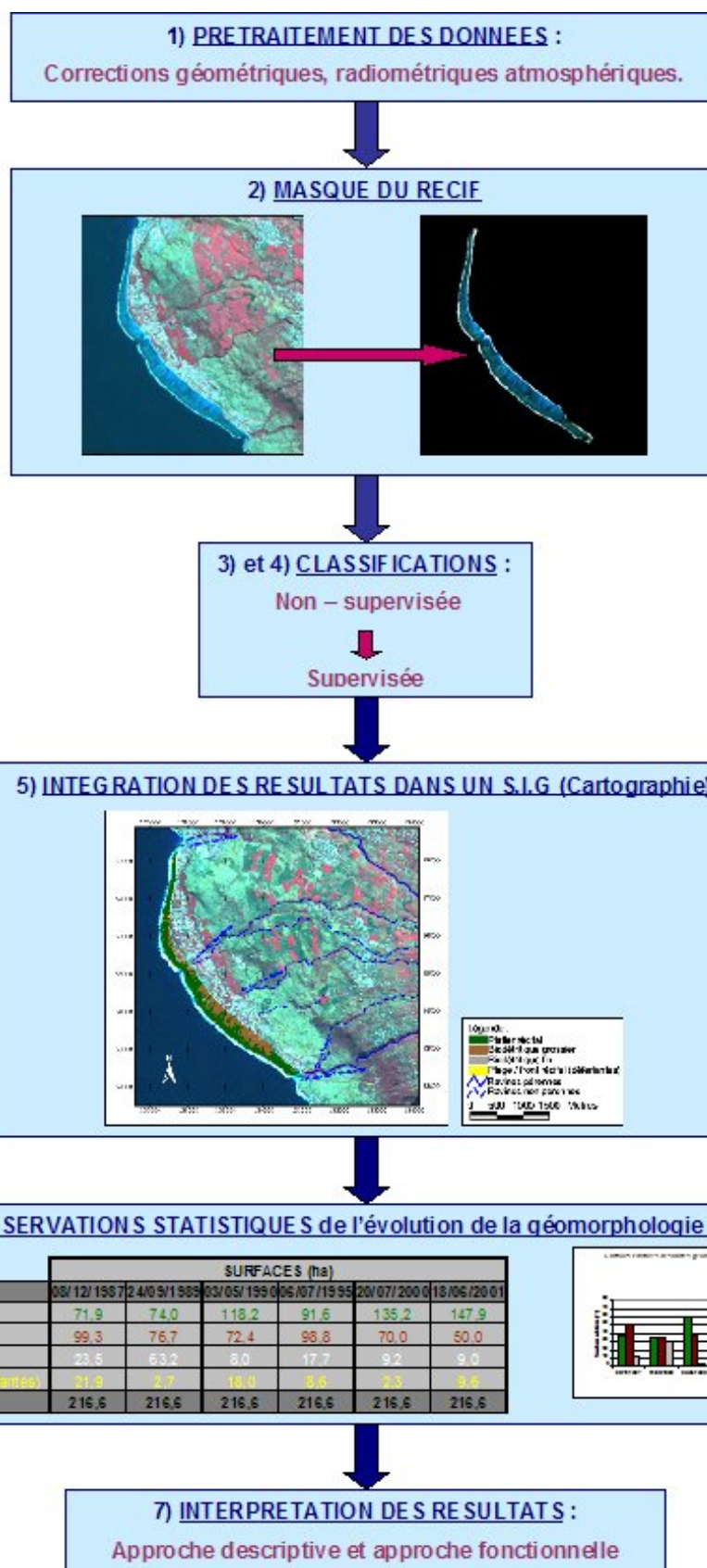


Figure 32 – Méthodologie suivie pour dresser la cartographie multi-temporelle de la géomorphologie du récif

Afin de ne traiter que la radiométrie des constituants de l'intérieur du lagon, l'ensemble « platier + dépression d'arrière-récif » a préalablement été isolé du reste de l'image. Ceci permet de nous affranchir des problèmes liés aux fortes réflectances des éléments entourant le lagon (plage, déferlantes...).

La classification s'est effectuée en deux temps.

Tout d'abord, une classification non-supervisée a été lancée permettant, sans connaissance précise du terrain, de « segmenter » automatiquement l'image. Ce type de classification offre également la possibilité d'évaluer le pouvoir discriminant au sens thématique de l'information que les données utilisées (ici SPOT 1 à 4) permettront d'acquérir sur la zone. Elle donne donc une idée du nombre de classes envisageables (c'est à dire qui apportent réellement de l'information) dans le cas d'une classification supervisée ultérieure. Le nombre de classes choisies est de 10. Dans cette première classification, seuls interviennent comme critères de répartition dans les différentes classes les caractéristiques spectrales (réflectance) des pixels sur les trois canaux que comptent les satellites SPOT 1 à 4 (la bande MIR du satellite SPOT 4 n'étant pas utilisée). Pour chaque image, les 10 classes obtenues ont été ensuite regroupées en 4 classes ayant des signatures spectrales similaires correspondant chacune à l'une des entités géomorphologiques à cartographier.

Ensuite, une classification supervisée a suivi. Cette approche « dirigée » consiste à effectuer une segmentation de l'ensemble des données mesurées en s'inspirant d'un modèle déterministe. Ce modèle est ici la signature, à 4 classes, déterminée précédemment pour chaque image SPOT 1 à 4. La classification supervisée permet ainsi l'identification et la localisation des classes d'objets particuliers (ici, le platier récifal, les sédiments biodétritiques...etc), en fournissant au calculateur la "vérité-terrain" correspondant à cette légende. On obtient ainsi 6 images classifiées, qui, introduites dans un S.I.G. sous ArcView, permettent l'élaboration de cartographies.

b) La seconde étape de notre réflexion s'est focalisée sur les possibilités du satellite THR Spot 5 en matière de cartographie récifale. Pas de comparaison multi-date cette fois-ci ; le travail n'a porté que sur une image. Mais la méthodologie suivie est quasiment la même (Lebourgeois, 2003).

Dans un premier temps une classification non supervisée, avec ici un choix de 20 classes, a été lancée. Après plusieurs essais, ce nombre de classes est en effet apparu le plus pertinent pour le type de cartographie (plus fine) que nous souhaitons effectuer. Ces 20 classes ont ensuite été regroupées en 7 classes de même signature spectrale, chacune correspondant à un constituant du récif, et soumise à une deuxième classification, supervisée cette fois-ci.

c) La méthode proposée pour la mise à jour rapide de la cartographie de l'état de santé des récifs fait office de troisième et dernière étape dans notre réflexion. Les considérations techniques concernent les méthodes proposées pour la cartographie fine du lagon à partir des orthophotos. Notons qu'aucun produit fini relatif à cette thématique ne peut être présenté à l'issu du projet AGIL.

La cartographie des récifs pose en effet d'importants problèmes de nomenclature, de hiérarchie de classe et de représentation. Trop souvent, les aspects géomorphologiques sont mélangés à la bionomie, aux types de substrats ou encore à des niveaux d'état de santé. Cette confusion rend les cartes surchargées et par conséquent illisibles. Cartographier le lagon de la Réunion à partir des informations fines fournies par les orthophotos demande donc un long travail préalable de réflexion et de conception de la base de données. De plus, cela demande un travail de vérification sur le terrain des résultats obtenus par l'analyse d'images qui nécessite du temps et des spécialistes. C'est tout ce temps qui a manqué pour mener à bien cette troisième étape.

La méthodologie à suivre une fois la nomenclature et la hiérarchie des couches organisée est, par contre, au point comme l'illustre la figure 33.

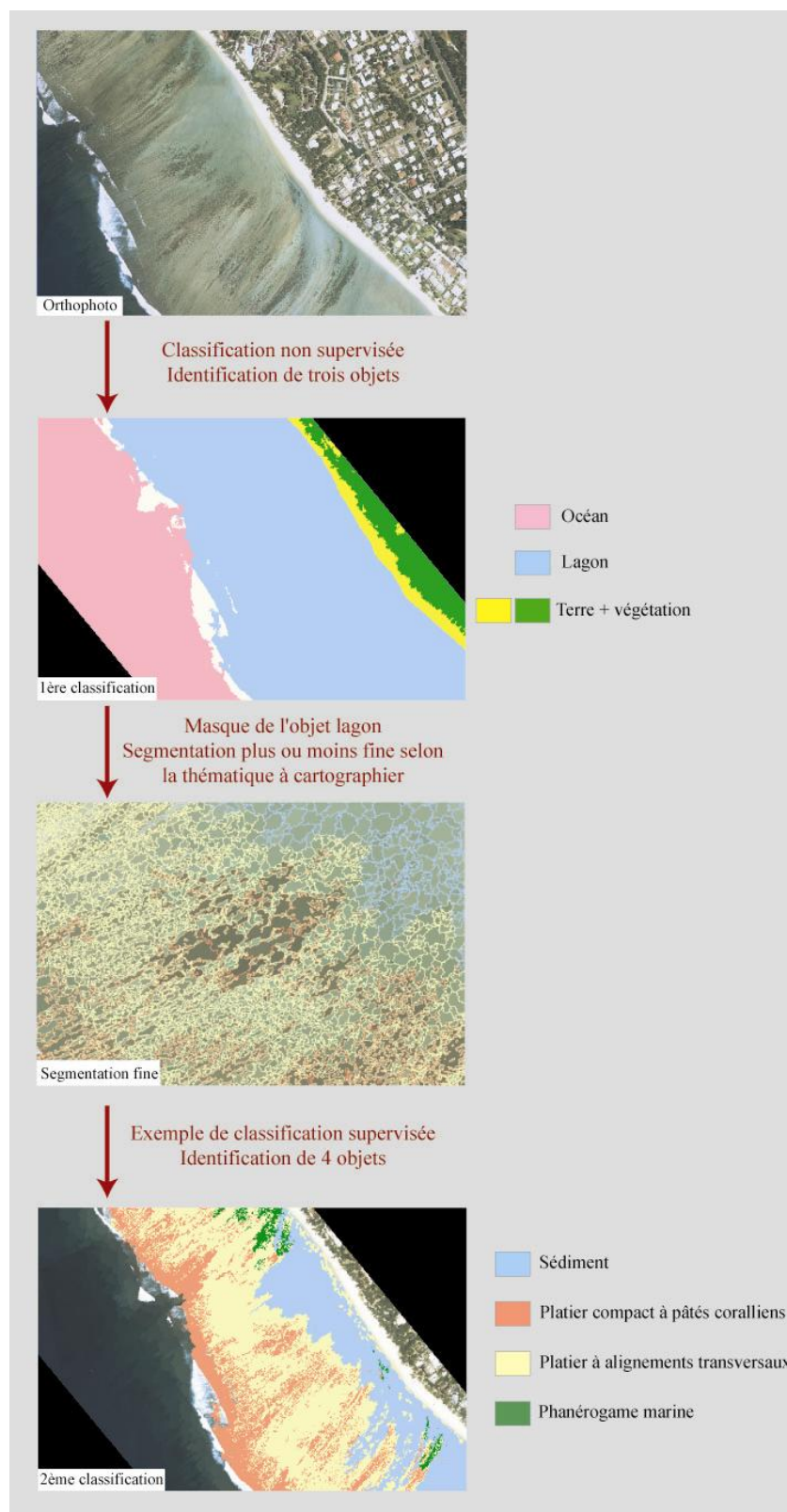


Figure 33 – Méthodologie pour cartographier à l'aide d'un logiciel orienté objet les formations récifales du lagon de la Réunion

Recommandations

L'utilisation de ces produits doit faire l'objet de précautions car aucune validation de terrain n'a été entreprise. Il serait ainsi intéressant de confronter les différents résultats avec les données recueillies par les écogardes du Parc Marin le long des différents transects présents dans le lagon qu'ils suivent depuis plusieurs années. Ces derniers ouvrent une nouvelle piste de recherche concernant l'extrapolation et la spatialisation de données relevées ponctuellement le long d'un transect à une surface plus large cartographiée.

3.2.9. Océan : Suivi de la dynamique océanique

Thématique décrite

Le contexte océanique tropical est largement responsable des épisodes de blanchissement qui touchent désormais chaque année les récifs coralliens de l'île de la Réunion. Le suivi de certains indicateurs généraux concernant l'environnement océanique du type « température de la surface des eaux » ou « couleur de l'eau » présente donc un intérêt considérable en matière de prévision de phénomènes environnementaux de grande ampleur. Ce suivi satellitaire offre aussi la possibilité à l'ensemble de la filière pêche hauturière des pays du sud-ouest de l'océan Indien de prévoir, d'organiser et d'optimiser leurs sorties. Ces données représentent donc aussi un enjeu économique important.

L'existant pour traiter la thématique avant le produit

Avant 1989 (date à laquelle la station de réception d'images à la Réunion est mise en route), il n'existe que peu de données sur l'environnement océanique du sud-ouest de l'océan Indien.

Le satellite NOAA fournit des données sur la température de surface des océans depuis le début des années 1970 mais les outils d'analyse et de traitement d'image restent encore chers et rendent les données NOAA inaccessibles sous format numérique.

Les températures de surface des océans sont aussi mesurées par le satellite Météosat (utilisateur Météo France) mais aucune diffusion numérique n'est possible et le recueil des données ne se fait pas en temps réel.

Les données NOAA disponibles en temps réel sont donc accessibles à partir de 1989 à l'IRD – la Réunion, tandis que les données sur la couleur de l'eau obtenues grâce au capteur SeaWiFS (successeur du capteur CZCS) sont disponibles dès 1997, SEAS – la Réunion ayant été l'un des premiers segments sols à capter ce satellite.

Le produit lui-même et la fiche d'utilisation (méthode)

Deux types de produits sont disponibles :

- des données de température de surface des océans (SST) obtenues grâce à l'analyse des images NOAA : chaque jour, le satellite passe une à deux fois durant la journée et une à deux fois durant la nuit. Une première synthèse quotidienne est réalisée avant d'aboutir à une synthèse finale effectuée sur 5 jours. Les images raster obtenues (figure 34) offrent un dégradé des eaux les plus chaudes en rouge-violet, aux eaux les plus froides en bleu marine. Les cartes de champs de températures sont exploitées par les professionnels de la pêche hauturière et

notamment, à la Réunion, celle de l'espadon qui évolue principalement dans des eaux tempérées, mais aussi pour effectuer un suivi scientifique de l'environnement marin et prévoir par exemple les phénomènes de blanchissement des coraux.

La comparaison de deux images NOAA prises en hiver et en été illustre le cycle saisonnier des températures de surface, typique de l'océan Indien. Ces variations sont aussi liées à la circulation générale des masses d'eau. En été austral (Janvier-Février), les masses d'eau chaudes descendent dans l'hémisphère sud autour du 10°S tandis qu'en hiver austral (Juin –Juillet) le front chaud remonte vers le nord aux alentours de 10°N.

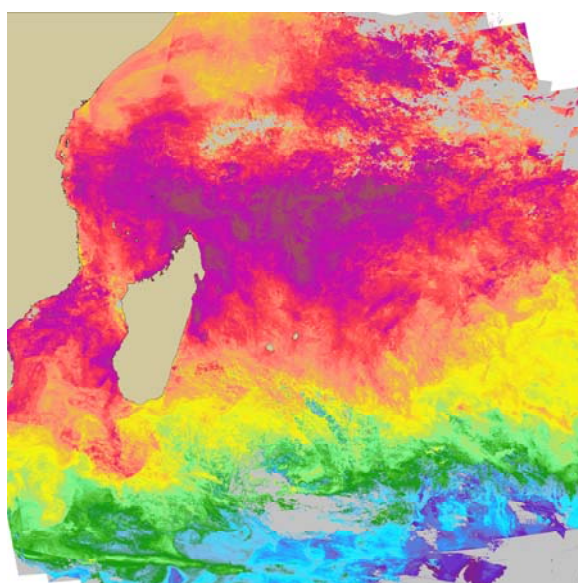


Image NOAA au 5 Janvier 2005

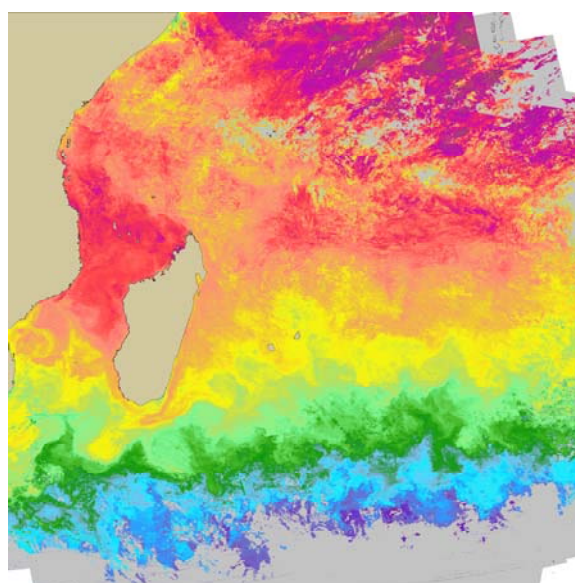


Image NOAA au 8 Juin 2005

Figure 34 – L'environnement océanique (température) de la Réunion en été et hiver austral

- des données concernant la couleur de l'eau traduisant la concentration en chlorophylle obtenues grâce à l'analyse des images SeaWiFS : le satellite n'effectue, cette fois ci, qu'un ou deux passages diurnes. Avant toute synthèse, un premier travail de mosaïquage est nécessaire car la fauchée du satellite est trop petite pour couvrir l'ensemble de la région sud-ouest de l'océan Indien. Une synthèse quotidienne puis hebdomadaire (sur 7 jours) est ensuite effectuée. Les cartes obtenues représentent la répartition de la teneur en chlorophylle dans l'eau. Plus on tend vers le vert-jaune plus la concentration est forte. L'utilisation concerne essentiellement le suivi scientifique de l'environnement marin et notamment le suivi de blooms d'algues.

L'observation des deux images SeaWiFS de la figure 35 montre que l'activité chlorophyllienne est plus importante lorsque la température des eaux baisse lors de l'hiver austral. L'apparition de foyers à fortes teneurs en chlorophylle le long des côtes révèle l'existence de phénomènes locaux d'upwelling. Ces remontées d'eaux froides n'apparaissent pas sur les cartes de températures de surface car elles sont bien trop localisées pour une échelle aussi petite. De plus, l'apparition d'activité chlorophyllienne n'est pas simultanée avec le phénomène d'upwelling. Elle intervient en effet avec un léger décalage.

On distingue facilement trois zones d'upwelling récurrentes dans la région : l'upwelling du Cap Sainte-Marie (Madagascar), l'upwelling le long de la côte du Mozambique et, plus au nord, celui de Somalie.

Pour ces deux produits, l'IRD dispose d'un archivage quasi régulier depuis 2000. Toutes les images sont au même format, à savoir 1 pixel = 1/60 degré et possèdent quasiment la même résolution à la verticale, à savoir 1 pixel = 1.8 km environ.

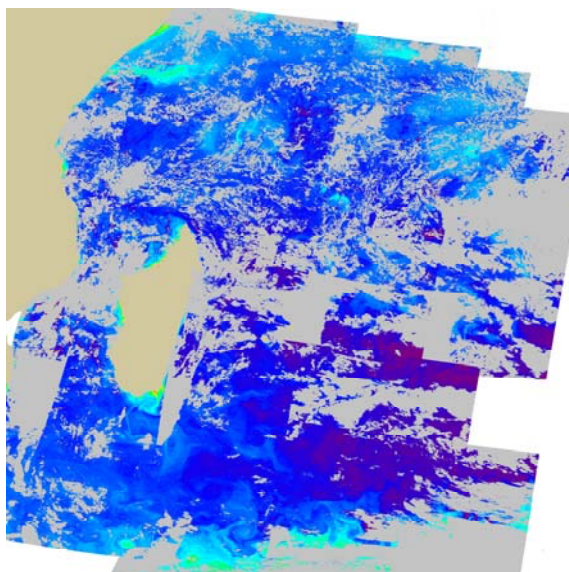


Image SeaWiFS au 7 Décembre 2004

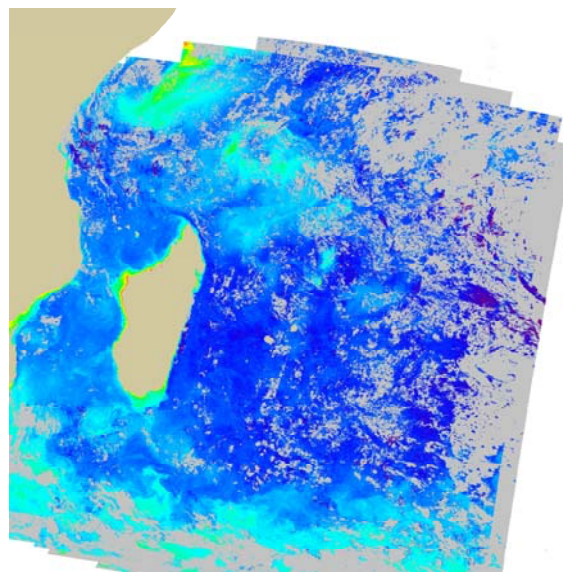


Image SeaWiFS au 4 Juin 2004

Figure 35 - L'environnement océanique (couleur de l'eau) de la Réunion en été et hiver austral

L'aspect technique

Depuis 1989, l'IRD possède une station de réception HRPT (Hight Resolution Picture Transmission) située à l'Université de la Réunion. Elle permet la collecte d'images SeaWiFS et NOAA (réception des satellites en bande L autour de 1700 MHz).

Les données récoltées sont ensuite traitées in situ. La première étape, dite de pré traitement, consiste à effectuer le redressement radiométrique (correction et étalonnage des capteurs) ainsi que le redressement géographique où l'on calcule la grille de localisation qui a pour objectif d'établir une relation, par interpolation, entre les pixels (ligne/colonne) et les positions (latitude/longitude).

Cette étape est validée par un recalage visuel de l'image sur des amers cartographiques.

La seconde étape convertit les valeurs brutes de radiance de chaque pixel en valeurs physiques (SST) suivant des algorithmes de calcul spécifiques (passages diurne ou nocturne).

En fin de période de 24 heures, les SST correspondantes à chacun des passages de cette période est projetée, en utilisant la grille de localisation, au format Mercator carré au pas de 1/60 de degré. Ainsi, ces champs peuvent être compilés (empilement des images), en une synthèse quotidienne par extraction de SSTmax (température de la mer la plus haute). La dernière étape consiste à effectuer une synthèse *pentadaire*, soit une moyenne glissante centrée sur 5 jours. Cette opération diminue le bruit de fond de l'information sans trop favoriser les valeurs de SST hautes (phénomène de propagation de valeurs extrêmes).

Les produits élaborés (SST projetées) sont archivés en format .png (compressé sans destruction de l'image). Il a été conçu afin d'établir une correspondance directe entre le code couleur du pixel et sa vraie valeur (au 1/100 de degré). La conversion image.png → matrice.SST est réalisée au moyen d'outils logiciels simples sous linux.

Les produits élaborés de la chaîne SeaWIFS utilisent le même mode d'archivage (.png) et sont convertibles en valeurs numériquement exploitables (concentration de chlorophylle) par des outils analogues aux sorties SST.

Recommandations

Les données élaborées SST produites par les stations du réseau SeaSnet sont disponibles sous conditions d'engagement de confidentialité. Leur utilisation commerciale ainsi que leur diffusion ou publication doivent faire l'objet d'un contrat particulier avec l'IRD.

Les données SeaWIFS, même après traitement, sont la propriété d'ORBIMAGE, leur exploitation est conditionnée par un contrat spécifique entre l'utilisateur et ORBIMAGE.

Pour toute information prendre contact avec Michel Petit de l'IRD (michel.petit@ird.fr).

3.3. Approche acteurs

Une « approche acteurs » est une démarche scientifique qui vise à identifier le réseau d'acteurs concernés par une question donnée, leurs représentations de celle-ci, leurs enjeux. Il s'agit donc d'identifier les différents acteurs au travers de leur statut, de leur mandat (juridique, territorial, social, etc...), de leurs interactions, mais également d'analyser leurs pratiques, leurs perceptions de la problématique posée, les valeurs partagées qui participent à la constitution de leur système d'action.

Aussi avons-nous cherché à identifier quels étaient les acteurs concernés à la Réunion par la Gestion Intégrée des Zones Côtières. La notion « d'acteurs concernés » prend en compte non seulement les collectifs (institutions notamment) mais également les individus reconnus comme interlocuteurs pertinents pour traiter de la question de la GIZC. Or depuis le Séminaire GIZC de 1999, on constate qu'hormis la constitution de l'Association Parc Marin et les tentatives réalisées à l'échelle régionale (via le CESR, la Région ou la DIREN), la « greffe » de la problématique GIZC ne semble pas avoir bien pris. Sans doute est-ce lié à des enjeux de plus en plus forts sur le littoral combinés à un manque d'implication effective des élus locaux pour s'approprier le concept et la démarche de GIZC.

La problématique posée dans le cadre d'AGIL est encore plus restrictive puisqu'il s'agit de mieux appréhender la place de l'outil satellitaire dans la gestion des littoraux. Mais à la Réunion, les outils satellitaires n'ont été introduits que très récemment, rendant encore plus difficile l'identification d'une communauté d'acteurs structurée autour de ces outils. Au vu de ces difficultés, il est apparu que nous ne pouvions qu'identifier les utilisateurs potentiels des images satellites. L'« approche acteur » initialement pensée s'est donc transformée en une « approche utilisateurs » dans laquelle nous avons cherché à identifier leurs besoins et pratiques actuelles et futures qui pouvaient nécessiter une utilisation des images satellites, mais également leur capacité d'utilisation et d'analyse des données produites.

3.3.1. Méthodologie

Objectifs

La méthode que nous avons suivie avait quatre objectifs principaux :

- Identifier les utilisateurs potentiels des outils satellitaires et leurs besoins en matière de GIZC ou plus généralement en matière de gestion intégrée ;
- Evaluer la pertinence de l'offre AGIL, non seulement en ce qui concerne les produits proposés mais également en matière d'organisation pour répondre à la demande ;
- Caractériser un peu mieux « la greffe » de la GIZC à la Réunion, en analysant notamment les perceptions des utilisateurs potentiels de la GIZC, et plus généralement leur perception et définition de la gestion intégrée, tout particulièrement en ce qui concerne les liens entre bassin versant et littoral ;
- Formuler des recommandations
 - au RTE en matière d'élaboration de la GIZC, d'organisation de l'offre de traitement des images satellites afin qu'elles soient plus utilisées par les acteurs locaux
 - aux partenaires du consortium AGIL producteurs de données satellitaires et de traitements, pour une meilleure adaptation de l'offre de produits satellitaires aux besoins des utilisateurs potentiels (en terme de produits et démarches).

Les étapes de la démarche

Cette méthode s'organise autour de quatre grandes étapes :

- l'étude des relations bassin versant / Littoral
- la collecte des informations
- L'analyse et le traitement des résultats
- La restitution des résultats aux acteurs

L'étude des relations bassin versant / Littoral

Puisque nous avons fait l'hypothèse que la télédétection satellitaire n'était que peu utilisée, nous avons construit, une représentation des relations entre bassin versant et littoral à dire d'experts. Cette formulation prenait en compte les acteurs de la GIZC à partir de leurs interactions observées ou potentielles avec les milieux marins et les processus biophysiques liés. En considérant le lagon comme un milieu fragile situé à l'exutoire des bassins versants amont, nous nous sommes focalisés sur la question de la viabilité de la réserve marine (Figure 36). Cette problématique a été déterminée comme principale, la viabilité de ce milieu étant jugée comme un bon indicateur de l'effectivité de la GIZC. Pour atteindre ce but, il fallait donc évaluer les impacts des flux hydriques provenant du bassin versant sur le milieu récifal et les usages au sein de la réserve. Ainsi, il s'agissait non seulement de considérer les flux amont mais également les activités économiques au sein de la réserve pouvant concourir à la dégradation du milieu marin.

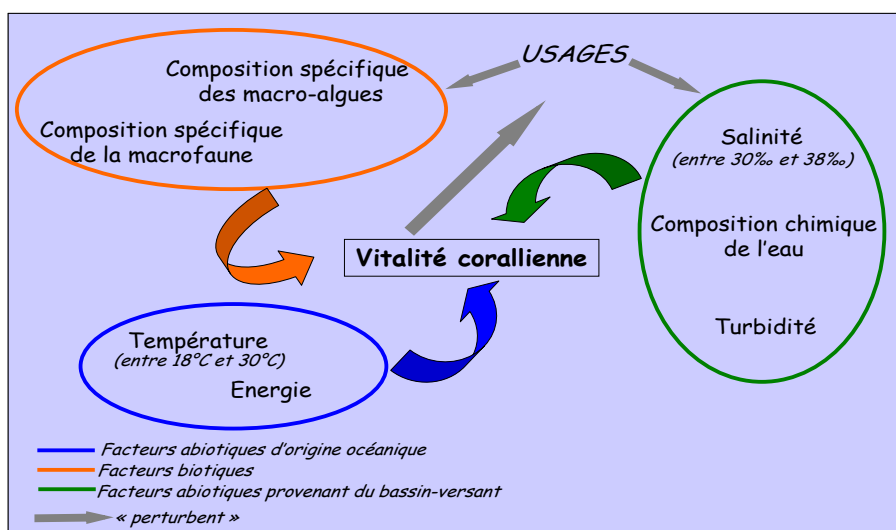


Figure 36 - Facteurs naturels et anthropiques influençant la vitalité corallienne

Mais comment appréhender la dynamique des flux hydriques anthropiques et naturels issus du bassin versant et ayant des impacts sur le récif ?

L'accent a été mis sur l'identification des éléments rendant compte de la diversité des facteurs influençant la vitalité corallienne :

- les facteurs biotiques et abiotiques déterminant la vitalité corallienne,
- les processus naturels et anthropiques modifiant ces facteurs,
- la description de ces processus,
- les espaces d'émission, de réception et de modification de la direction et de l'intensité des flux.

Différents schémas ont ainsi été réalisés pour identifier les objets géographiques concernés (lagon/récif, réseau hydrologique, espace agricole productif, les espaces naturels terrestres et agricoles non productifs, les espaces bâtis), les facteurs biotiques et abiotiques, pour rendre compte des processus d'interaction entre ces paramètres et les activités humaines, le tout au regard de la vitalité récifale (Figure 37).

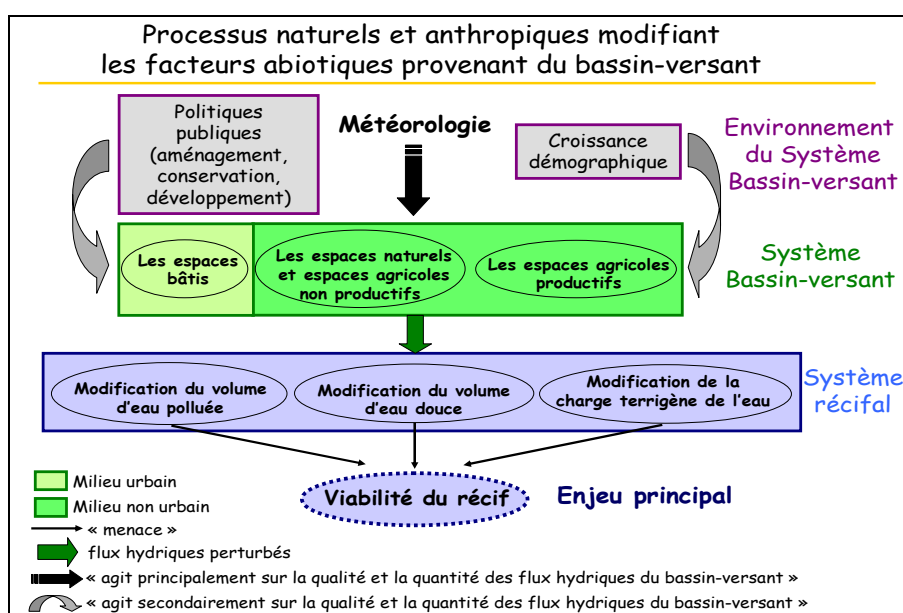


Figure 37 - Exemple de schéma présentant les interrelations bassin versant / littoral

Etant donnée notre hypothèse de départ sur la faible connaissance des acteurs en matières d'analyse et de traitement des images satellites, l'équipe AGIL a décidé de proposer un panel de différents produits satellitaires illustrant les problématiques identifiées lors de cette première étape.

La collecte des informations

Durant cette étape, le choix des acteurs ressources est fondamental. A partir de l'analyse des processus naturels et anthropiques précédemment décrite, nous avons identifié les institutions, services et acteurs jugés les plus pertinents quant à l'utilisation potentielle des images satellites pour traiter de la GIZC. Au fur et à mesure de l'avancée des enquêtes d'autres utilisateurs potentiels ont pu être désignés par nos interlocuteurs que nous avons ensuite enquêtés.

Mais tout d'abord, voyons comment nous avons procédé pour collecter les données.

Initialement, nous avons envisagé de réaliser des enquêtes collectives en organisant des *focus-groups*. Le problème s'est posé quant à la pertinence de l'organisation de fora AGIL alors que de nombreux espaces de concertation existent par ailleurs à la Réunion et mobilisent fortement les utilisateurs potentiels que nous avons identifiés. D'autre part, le BRGM, le Cirad et l'IRD, principaux maîtres d'œuvre de l'offre AGIL à la Réunion, n'ont aucune légitimité institutionnelle à mobiliser les utilisateurs potentiels autour de la question de la GIZC. Ainsi, l'organisation de fora AGIL risquait de tourner à l'échec en raison du faible nombre d'acteurs présents lors des éventuelles réunions. Nous avons donc décidé de nous insérer dans des fora préexistants choisis en fonction de critères communs en termes de thématique, d'objectifs, d'organisation et d'acteurs représentés. Plusieurs pistes ont été explorées. La première avec le CESR qui devait organiser un nouveau colloque sur la GIZC pour relancer les réflexions restées en suspens depuis la création de l'association Parc Marin. Il y avait adéquation totale entre nos objectifs de recherche et la proposition du CESR. Mais ce colloque a dû être reporté en raison d'incertitudes électorales (le CESR ayant été renouvelé en avril 2005) et financières.

La seconde piste explorée concerne la mise en place et le suivi environnemental du projet de basculement des eaux de l'Est vers l'Ouest, déficitaire en eau. Ce travail était réalisé par un bureau d'étude mandaté par le service eau du Département. La question des flux hydriques Est-Ouest, la question de la cohérence territoriale et la bonne représentation des acteurs de l'ouest étant au centre de la démarche de concertation initiée permettait de percevoir une relative complémentarité et donc de contractualiser un partenariat à bénéfice réciproque. Cette articulation n'a pas pu se faire et s'est réduite à une simple présentation (Figure 38).

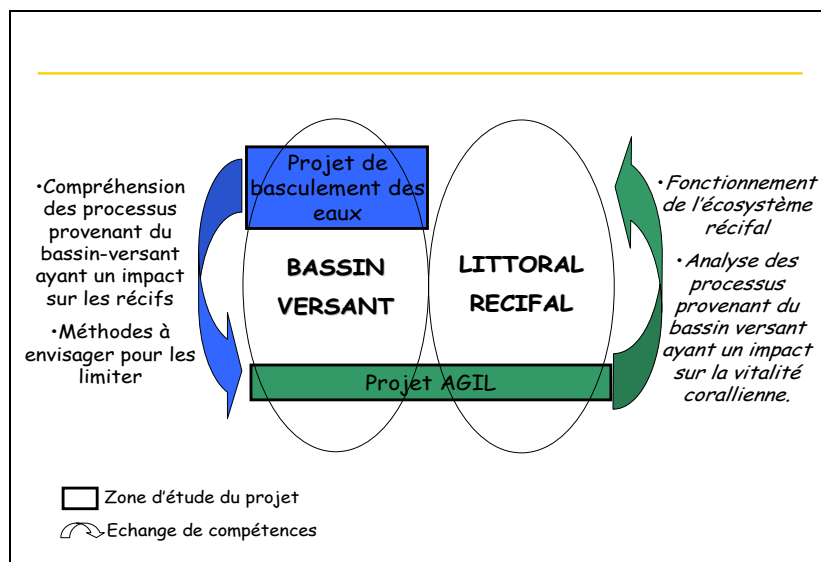


Figure 38 - Comparaison des deux approches AGIL et Basculement des eaux

Aussi avons-nous opté pour la mise en place d'enquêtes individuelles. Précisons que les utilisateurs potentiels étant par définition non recensés, il n'a pas été fait d'échantillonnage de type statistique. Nous avons plutôt cherché à obtenir une diversité maximale des utilisateurs potentiels. L'échantillon présenté n'est donc pas nécessairement représentatif d'une typologie préétablie. Il est courant dans notre situation d'incertitude quant à la représentativité de notre échantillon de réaliser des enquêtes ouvertes afin d'avoir une vision la plus riche possible des potentialités d'utilisation des images satellites. Mais la nouveauté des outils semblait être un frein à la richesse de l'expression en raison notamment de la faible connaissance des potentialités du satellite. Nous avons donc décidé de réaliser des enquêtes semi-directives s'appuyant sur une présentation des produits AGIL. Le diaporama exposé s'organisait en trois parties.

- D'abord, une présentation du consortium AGIL a été réalisée montrant les partenaires, la problématique générale et les objectifs du projet.
- Ensuite, les différents produits satellitaires proposés ont été présentés. Soit le diaporama a été exposé dans son intégralité puis les produits ont été repris et discutés un par un, soit les discussions s'engageaient dès le premier produit montrant ainsi un vif intérêt pour nos propositions. A partir de celles-ci, il a été demandé aux différentes personnes interrogées de les commenter, d'exprimer leurs intérêts ou leurs critiques pour améliorer les produits au regard de leurs besoins. Avec les discussions engagées, les acteurs ont pu mieux percevoir les limites et potentialités de l'outil satellitaire par rapport à leurs enjeux, leur permettant ainsi de formuler des propositions de traitement d'images satellites améliorant leurs propres interventions.
- Enfin, le guide d'entretien semi directif (tableau 5) a permis d'obtenir une première vision de l'utilisation potentielle de la télédétection et des indicateurs nécessaires pour réaliser un diagnostic, un suivi ou apporter des éléments pour les aider dans leur rôle de conseil.

Tableau 5 - Plan de l'entretien semi directif

1. Ces données produits présentés et issus d'AGIL sont/seraient utiles :
 - par rapport à quel type de besoins ou d'utilisation possible ?
 - sur quel domaine ?
 - avec quelle résolution spatiale ?
 - à quelle fréquence ?
2. quelle est votre perception des liens bassins versant-littoral :
 - est-ce que ce lien est pris en compte dans la gestion du territoire ?
 - est-ce que ce lien est pris en compte dans vos actions ? comment ?
 - quelles données seraient nécessaires pour avoir une gestion intégrée de la zone côtière ?
 - vos besoins concernent –ils plus une approche par territoire / par activité ?
3. quelle est votre perception de l'intérêt du satellite ?
 - avez-vous déjà utilisé des données satellitaires ?
 - avez-vous les moyens d'exploiter des données satellitaires (logiciel, personnels formés) ?
 - Ces perceptions sont-elles partagées au sein de votre organisme ?
4. Aurait-il été possible pour vous d'identifier une demande vis-à-vis des produits satellitaires avant tout développement ? pour quel besoin ?

Analyse et traitement des résultats

Pour traiter les enquêtes, les notes prises par chacun des membres d'AGIL présents à un entretien ont été fusionnées. Les informations recueillies ont ensuite été synthétisées afin de se focaliser sur quatre axes :

- la perception de la GIZC,
- la perception des outils satellitaires,
- les indicateurs pertinents pour leurs activités,
- les souhaits de participer dans le futur à l'élaboration en conjoint de produits satellitaires répondant à des demandes spécifiques

Restitution des résultats aux acteurs

Cette restitution s'est faite sous trois formes.

En premier lieu, les analyses des données collectées ont été restituées lors du séminaire final d'AGIL en fin juin 2005. L'objectif de ce séminaire était de présenter les principaux résultats obtenus suite à l'application de l'approche utilisateurs. Puisque nous n'avons pu mettre en place une enquête collective sur la problématique de l'utilisation des outils satellitaires dans la GIZC, ce séminaire a permis de recueillir certaines remarques et critiques quant aux synthèses produites, de valider ou d'infirmer nos analyses, d'autres remarques nous ayant été adressées à la lecture du rapport « Approche Acteurs » qui a été adressé à l'ensemble des personnes rencontrées lors de cette approche.

Le présent rapport concernant le chantier Réunion est la seconde forme que prend cette restitution. Il sera adressé à l'ensemble des personnes et institutions rencontrées lors du chantier AGIL.

Un troisième type de restitution se fera via les actes du séminaire AGIL qui prendront la forme d'un ouvrage de synthèse et de réflexions sur l'apport de l'observation de la terre à la

gestion intégrée des bassins versants et du littoral, les cas d'étude traités se situant bien entendu à la Réunion mais aussi en Languedoc-Roussillon, autre zone pilote d'AGIL et en Nouvelle-Calédonie où des actions ponctuelles labellisée AGIL ont eu lieu, notamment la thèse de P. Dumas.

Les limites de la méthode

Afin de préciser le domaine de validité de la démarche que nous avons entreprise, il est convient de revenir sur les limites principales de la méthode.

Tout d'abord, la population que nous avons enquêtée n'est pas un échantillon statistique puisque les acteurs, utilisateurs potentiels des données satellitaires, n'étaient pas connus au préalable. Les institutions ont donc été identifiées en fonction de notre connaissance de leurs activités ce qui constitue une limite puisque l'ensemble des utilisateurs potentiels n'a pu être touché dans sa totalité.

Ensuite, les personnes enquêtées au sein des institutions appartenaient aux services susceptibles d'utiliser les images satellites. Sauf pour les petites structures, les informations collectées correspondent donc aux points de vue de ces individus et ne sont pas nécessairement représentatives de l'opinion générale de l'organisme auquel ils appartiennent.

Enfin, il faut rappeler que les perceptions recueillies auprès des acteurs, l'ont été pendant ou après la présentation des produits AGIL. Ainsi, il est fort probable qu'elles aient été différentes si nous n'avions pas eu ce support visuel qui replace l'utilisation des images satellites dans un cadre plus concret. Aussi riches soient elles, les informations récoltées concernant la perception de l'outil satellitaire sont donc biaisées. Cependant, le caractère exploratoire des enquêtes réalisées est en adéquation avec la technique de guide d'entretien employé qui permet de favoriser les discussions sans les limiter. L'inconvénient de ce choix d'entretien semi-directif est qu'il laisse une partie plus grande à l'interprétation que pour un questionnaire fermé. Ce qui a rendu plus difficile l'interprétation des informations relatives à la perception des outils satellitaires.

3.3.2. Les enquêtes réalisées

Présentation des organismes enquêtés

Agence pour l'Observation de la Réunion l'Aménagement et l'Habitat (AGORAH) :

Créée en 1991 l'AGORAH est une association chargée d'observer et d'étudier les évolutions dans le domaine de l'aménagement, de l'habitat et de l'urbanisme à la Réunion. Reconnue à la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (F.N.A.U.), le financement de l'association repose sur un partenariat entre l'Etat, le Conseil Régional, le Conseil Général et les Communautés d'agglomérations. Les travaux et études sont donc menés à une échelle régionale. Notre RDV à l'AGORAH, nous a permis de rencontrer deux consultants sur des problématiques urbaines, le responsable SIG ainsi qu'un intérimaire.

L'Association du Parc Marin de la Réunion (APMR) :

L'APMR, crée le 17 Juillet 1997, se compose de membres de la Région, du département, de représentants des communes, de scientifiques, d'association de protection de la nature et d'associations socio-professionnelles. Elle est appuyée par un conseil scientifique. Ses principales missions sont l'information et la sensibilisation du public, l'élaboration et l'animation de programmes scientifiques communs, la contribution à l'amélioration des

protections réglementaires et à la mise en place d'une réserve naturelle sur les lagons.

L'APMR a été créée pour devenir la structure de gestion de la future réserve naturelle. Il est prévu dans les statuts de l'association qu'elle construise son évolution vers un statut pérenne au plan juridique et comptable, qui soit compatible avec la mise en œuvre de véritables capacités de gestion d'une réserve naturelle sur les lagons. Sans Directeur scientifique à l'époque de la prise de RDV, nous y avons rencontré la directrice administrative et financière ainsi que le responsable des éco-gardes marins chargé aussi de la gestion des bases de données.

Commissariat à l'Aménagement des Hauts (CAH) :

Créé en Octobre 1978, le CAH est une administration de mission chargée de mettre en œuvre le Plan d'Aménagement des Hauts. Il appartient au réseau des Commissariats de massifs de la DATAR (Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale). A sa tête un Commissaire, nommé par la DATAR, qui a pour mission, sous la direction du Préfet, de rechercher, de proposer et de promouvoir des mesures propres à mettre en valeur la zone des Hauts dans un objectif de développement durable, dans le cadre du contrat Etat-Région et des programmes européens. C'est un des adjoints au Commissaire que nous avons rencontré.

La Chambre d'Agriculture de la Réunion :

Etablissement public professionnel, la Chambre d'Agriculture est un organisme consulaire. Elle a pour mission d'être le porte-parole de l'agriculture et du monde rural auprès des pouvoirs publics et doit assurer un rôle essentiel de service auprès des agriculteurs. La Chambre d'Agriculture est l'interlocuteur des pouvoirs publics français ou européens et des collectivités territoriales. Elle est consultée dans toutes les grandes décisions concernant le monde agricole et rural. Nous avons pu, lors de notre entretien à la Chambre d'Agriculture, recueillir les propos du responsable de la cellule Ouest.

Le Centre National pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles (CNASEA) :

Le CNASEA est un établissement public national sous la tutelle du ministère de l'Agriculture et de la Pêche et du ministère de l'Emploi, de la Cohésion sociale et du Logement. Il intervient dans les domaines de l'agriculture, de l'aménagement rural et de l'environnement. Il assure le paiement d'aides de l'Etat et de la Communauté européenne aux agriculteurs dans le cadre de la politique d'installation et de modernisation des exploitations, de développement local et d'aménagement rural, ainsi que dans celui de la protection de l'environnement. Les agents du CNASEA doivent évaluer, et après acceptation, payer les subventions aux agriculteurs. En métropole, les dossiers leurs sont transmis par la Chambre d'Agriculture ; ils les instruisent puis les transmettent à leur tour à l'ADASEA (Association Départementale pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles) ; enfin le dossier leur revient pour paiement. A la Réunion, il n'existe pas d'ADASEA et c'est le CNASEA qui s'occupe de toute l'instruction des dossiers. Nous avons, dans cet organisme, rencontré le chef du bureau des études et des actions foncières.

Le Comité Irrigouest :

Le Comité technique Irrigouest, créé en décembre 1997, coordonne le projet agricole sur l'antenne 4 dans le cadre du Transfert des eaux à la Réunion. Il a vocation de suivre l'ensemble du périmètre irrigué et fera office de comité de pilotage de l'OGAF (Opérations Groupées d'Aménagement Foncier) sur l'Antenne 4. C'est au cours de réunions mensuelles que les différents membres du comité se réunissent. Présidés par le Conseil Général, ceux-ci sont au nombre de 14 : Sous-préfecture de St-Paul, DAF, CAH, Mairie de St-Paul, Mairie de Trois Bassins, Crédit Agricole, CNASEA, Chambre d'Agriculture, SAFER, APR, ARMES, Association ADAPITOU, CUMA Pro canne, SFS. Lors de notre entretien au Comité

Irrigouest, nous avons pu rencontrer le coordinateur basculement des eaux et une chargée d'étude, responsable du suivi et de l'évaluation du basculement des eaux.

Le Comité de Pilotage de la Canne :

Pour relancer la filière Canne-Sucre à la Réunion, trois comités (de pilotage, consultatif et opérationnel) ainsi qu'un secrétariat ont été créés le 12 Mai 2000. Le Comité de Pilotage a deux objectifs :

- mettre en synergie les capacités d'expertise et les moyens financiers de l'Etat, de la Région et du Département ;
- obtenir la participation des professionnels de la filière en reliant un organisme d'orientation politique (comité de pilotage) et un organisme consultatif.

Lors de notre enquête, nous avons rencontré le secrétaire ainsi qu'une chargée de mission du Secrétariat Permanent. Financé par l'Etat et le Département avec le concours des fonds européens, celui-ci est chargé de l'élaboration, de l'animation et de la coordination du programme de relance de la canne. Il travaille en étroite collaboration avec les administrations et les acteurs de la filière par le biais d'actions de concertation et de sensibilisation. Ce secrétariat est chargé d'améliorer la connaissance des espaces agricoles, de protéger les terres agricoles, de définir à partir de la réflexion des documents d'urbanisme des programmes d'action, d'optimiser la gestion de la ressource en eau et de reconquérir les surfaces à vocation agricole.

Le Conseil Général :

Le Département est une collectivité territoriale administrée par le Conseil général, composée d'élus et de services techniques. Il soutient actuellement la réalisation d'un Schéma Départemental d'Aménagement et de Développement Durable (SDADD). Il s'agit de constituer un document non réglementaire pour positionner le Département dans les politiques d'Aménagement et pour redéfinir ses compétences. La réalisation de ce document, confiée à un bureau d'étude, doit aboutir début 2006 et se présentera en trois parties : un diagnostic, huit séminaires sur des grands thèmes comme l'agriculture, l'énergie, le déplacement, le foncier, etc... et 2 scénarios dont 3 plans d'actions jalonnés de séminaires.

Depuis Janvier, le secteur Agriculture est passé au Département alors que celui de la Pêche est passé à la Région. Du coup, les préoccupations pour le littoral sont moindres. Mais il existe tout de même un service Environnement chargé, entre autre, d'agir en faveur de la protection du milieu marin. C'est pourquoi le Département opère de manière transversale sur le territoire. Les deux entretiens que nous avons obtenus au Conseil Général, nous ont permis de rencontrer le Directeur du service Aménagement et Développement Territorial qui est aussi responsable de la cellule SIG et NTIC, un responsable SIG au service Aménagement, un chef de projet informatique à la Direction Informatique et un responsable Assainissement à la Direction de l'Environnement.

Le Conseil régional :

La Région Réunion oriente l'aménagement du territoire réunionnais dans le souci de répondre aux besoins des générations actuelles sans compromettre ceux des générations futures. Bailleur de fonds de nombreux projets à la Réunion, la Région intervient de manière transversale sur le territoire tant d'un point de vue thématique, que d'un point de vue spatial.

Ainsi, avec le Schéma d'Aménagement Régional (SAR), elle agit pour densifier les bourgs, préserver les espaces naturels et agricoles et rééquilibrer le territoire en faveur du Sud et de l'Est de l'île mais également des Hauts et des mi-pentes.

Notre entretien à la Région nous a permis de recueillir l'avis et les perceptions du Vice-président délégué à l'Aménagement du Territoire ainsi que ceux du conseiller régional à la commission du Développement Durable.

Le Conservatoire de l'espace Littoral et des Rivages Lacustres (CLRL) :

Le Conservatoire du littoral, membre de l'Union Mondiale pour la Nature (UICN), est un établissement public créé en 1975. Il mène une politique foncière visant à la protection définitive des espaces naturels et des paysages sur les rivages maritimes. Il acquiert des terrains fragiles ou menacés à l'amiable, par préemption, ou exceptionnellement par expropriation. Il confie alors la gestion des terrains aux communes, à d'autres collectivités locales ou à des associations pour qu'ils en assurent la gestion dans le respect des orientations arrêtées. A la Réunion, le long de la côte sous le vent, le CLRL est propriétaire de quatre sites : le Cap la Houssaye (2.5 ha en 2003 + négociations en cours), le Rocher des Colimaçons (122 ha en 1981-1982), la Pointe au Sel (17 ha entre 1980 et 2003) et l'Etang du Gol (41 ha entre 1987 et 2003). L'entretien au CLRL s'est tenu en présence de la représentante du Conservatoire à la Réunion et d'une chargée de mission.

Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) :

Service de l'État à compétence interministérielle placé sous l'autorité du Préfet, la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (D.D.A.F.) remplit des missions administratives, techniques et financières dans les domaines de l'économie agricole et forestière, l'environnement et la protection de la nature, l'aménagement du territoire, l'alimentation et l'emploi et la protection sociale. Mais à la Réunion la DDAF n'est pas chargée de la gestion du volet forestier. Les exploitations forestières privées qui leur sont en générale affiliées sont à la charge de l'ONF. Nous y avons rencontré le responsable SIG ainsi que la responsable Environnement du service Aménagement.

Direction Départementale de l'Equipelement (DDE) :

Service départemental de l'Etat (Ministère de l'Equipelement, des Transports et du Logement) la Direction Départementale de l'Equipelement a pour missions de :

- conduire les études des travaux de grandes infrastructures routières et autoroutières ainsi que des ouvrages d'art;
- mettre en œuvre et animer les politiques nationales liées au domaine de l'habitat en partenariat avec les acteurs locaux ;
- conduire la politique de l'Etat dans le domaine des risques et du bruit ainsi que dans le cadre de l'Aménagement du territoire et de l'urbanisme;
- intervenir sur la politique des transports urbains (PDU) ;

Nous avons pu présenter notre projet aux responsables de la cellule Environnement, de la cellule Déplacements et Transports Collectifs, du pôle Economie et Statistiques appartenant tous à l'équipe PROSPET (Pôle Régional d'Orientations Stratégiques et Prospectives pour l'Equipelement du Territoire).

Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) :

La Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) est un service décentralisé du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Mise en place en 1992, sa mission principale est de contribuer à la connaissance, à la protection, à la gestion et à la valorisation de l'environnement tant terrestre que marin. Notons qu'il existe une branche *Milieu Marin et Gestion Intégrée des Zones Côtières* intégrée au sein du service *Protection de la Nature et Développement Durable*. C'est d'ailleurs la responsable *Milieu Marin* que nous avons rencontrée. Le projet de Réserve Naturelle Marine constitue un des volets de la politique de GIZC mise en œuvre par la DIREN. La DIREN Réunion occupe une place particulière dans le dispositif IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs Coralliens) puisqu'elle chargée au niveau National de coordonner les réflexions sur la GIZC des littoraux coralliens.

La Fédération Régionale des Coopératives Agricoles (FRCA) :

Créée en 1979, la FRCA est un syndicat professionnel qui regroupe l'ensemble des Coopératives Agricoles, SICA, CUMA et Unions de l'île de la Réunion. La FRCA veille, à travers le développement de ses stratégies, à respecter et faire respecter l'éthique de la coopération agricole et les valeurs des principes coopératifs. C'est une véritable force de proposition, de représentation et de défense des intérêts des structures adhérentes sur le plan local, mais également en dehors de notre département. L'entretien à la FRCA a été réalisé en présence du Président et du responsable du service Environnement.

Mairie de Saint-Paul :

Cette collectivité territoriale est chargée de la gestion de l'ensemble du territoire de la commune, du « sommet des montagnes, au battant des lames ». Tous les différents services y sont donc représentés. Mais c'est avec les services de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement que nous avons pu nous entretenir. Le Directeur ainsi qu'un chargé de mission à l'Aménagement étaient présents et une chargée de mission à l'Environnement. Au cours d'un second RDV nous avons pu rencontrer un élu, adjoint au maire.

Mission de création du Parc National des Hauts de la Réunion :

Ce sont l'Etat (le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable), la Région et le Département qui ont créé la Mission de création du Parc National et qui la financent. Ils lui ont confié la tâche d'organiser et d'animer la concertation. Il s'agit de proposer aux partenaires institutionnels pour validation les éléments constitutifs du futur Parc National : délimitation, décret, charte de développement durable, budgets, organisation, bases scientifiques. Lors de notre entretien avec la Mission de création du Parc de Hauts, nous avons rencontré le chargé de mission Développement, tenu d'élaborer la Charte de Développement Durable avec les acteurs de l'aménagement et du développement.

L'Office de L'Eau de la Réunion (OLE) :

Etablissement public local, l'Office de L'Eau est chargé, de faciliter les diverses actions d'intérêt commun dans le domaine de la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. En liaison avec le Comité de Bassin, l'OLE participe à l'élaboration du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) et peut également assurer la programmation et le financement d'actions et de travaux sur l'ensemble de l'île. Notre RDV à l'OLE nous a permis de rencontrer un hydrogéologue, un responsable technique et un ingénieur qualité de l'eau.

L'Office Nationale des Forêts (ONF) :

L'Etat a confié à l'Office quatre grandes missions d'intérêt général :

- la protection du territoire par la gestion des risques naturels ainsi que celle de la forêt par la création de réserves naturelles et biologique ;
- la production en conjuguant les exigences économiques, écologiques et sociales ;
- l'accueil du public par les aménagements, l'information et la sensibilisation à l'environnement ;
- l'activité de "partenaire naturel" au service de tous les responsables de milieux naturels (au plan national et international).

Ainsi, l'ONF est chargé de gérer (protéger et exploiter) une grande diversité d'écosystèmes forestiers abritant une importante diversité biologique. Il participe aussi à des programmes de conservation, tels que la fixation des dunes d'arrière plages chargées d'assurer le rechargement en sable des plages coralliennes. Deux entretiens successifs nous ont permis de recueillir les propos du responsable de l'Antenne Sud ainsi que ceux du responsable de l'unité spécialisée Développement Durable.

La SAFER :

Créée en 1965, la SAFER est une société anonyme soumise à l'agrément du ministre de l'agriculture et du ministre de l'économie et des finances. Créée pour contribuer à la politique des structures agricoles, elle s'est vue confier au fil des ans des missions d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement. Au cours de notre entretien à la SAFER, nous avons pu recueillir les propos du Président, du Directeur et du Directeur adjoint.

La Société Réunionnaise pour l'Etude et la Protection de l'Environnement (SREPEN) :

La SREPEN est une association loi 1901 créée en 1971. Elle œuvre dans la défense de l'environnement, la sensibilisation, la formation et l'animation organisée sur demande. La SREPEN n'est donc pas un promoteur de projet, mais elle joue essentiellement un rôle de conseil dans l'élaboration des POS, SCOT, SAR, etc. Lors de notre entretien, c'est la Présidente de l'association que nous avons rencontrée.

La Communauté d'Agglomération du Territoire de la Côte Ouest (TCO) :

La communauté d'agglomération Territoire de la Côte Ouest a été créée le 31 Décembre 2001 par les communes de Saint-Leu, Trois-Bassins, Saint-Paul, Le Port et La Possession. Elle regroupe une population de 180.000 habitants et s'étend sur une superficie totale de 53.606 hectares. Le terrain de travail du TCO est donc circonscrit au territoire respectif de ces 5 communes. Mais ses compétences sont aussi variées que l'aménagement, l'économie, le tourisme, l'environnement, la politique de la ville, la culture, le sport ou le transport. L'entretien au TCO nous a mis en présence de la responsable Espaces Naturels et Cadre de Vie et du responsable du service SIG, tous deux appartenant à la Direction de l'Aménagement.

Vie Océane :

Créée en 1991, Vie Océane est une association agréée par le ministère de la protection de la nature et de l'environnement depuis 1995. Elle est consultée par les instances de réflexion et de décision et agit pour promouvoir une gestion intégrée des espaces littoraux dans le plus grand respect de leurs équilibres naturels et de la pérennité de leurs ressources. Les actions de l'association sont : Conférences, débats, stages et formations, documents écrits et audiovisuels, activités subaquatiques d'étude et de découverte du milieu, participations, organisations de manifestations de sensibilisation du public. Nous avons pu y rencontrer l'ancien Président de l'association.

Classifications

La présentation des organismes rencontrés au cours des enquêtes, dresse un portrait bien réel de la diversité des acteurs de l'Ouest Réunionnais. Au total 22 organismes et 48 personnes ont été enquêtés, tous différents selon leurs statuts, leurs milieux d'intervention et leur rôle dans l'échelle de décision. C'est pourquoi, nous nous proposons de classer ces organismes selon trois grilles de lecture, afin de mieux cerner les caractéristiques de notre échantillon d'enquête.

Classification institutionnelle des organismes rencontrés

Une première typologie permet de classer les organismes rencontrés selon leur statut institutionnel. Il s'agit de faire ressortir la diversité des statuts existants parmi les acteurs de l'Ouest réunionnais.

Une première classification voulait initialement différencier les organismes en 6 groupes représentant au mieux le panel de statuts possibles : Collectivités Territoriales,

Administrations, Organisations Professionnelles, Associations/ONG, Instituts de Recherche, Bureaux d'Etudes.

Les 21 organismes enquêtés se ventilent en 4 types (tableau 6) : 4 collectivités territoriales (12 personnes), 9 administrations (17 personnes), 5 organisations professionnelles (9 personnes), et 4 associations/ONG (8 personnes).

Tableau 6 : Classification institutionnelle des organismes rencontrés

Collectivités Territoriales	Administrations
Conseil Général (4) Conseil Régional (2) Mairie de Saint-Paul (4) TCO (2) <i>4 organismes / (12 personnes)</i>	CAH (1) DIREN (1) CLRL (2) OLE (3) CNASEA (1) ONF (2) DDAF (3) DDE (3) Mission de création du Parc des Hauts (1)* <i>9 organismes / (17 personnes)</i>
Organisations Professionnelles	Associations / ONG
Chambre d'Agriculture (1) Comité Irrigouest (2) Comité de pilotage de la canne (2) FRCA (1) SAFER (3)* <i>5 organismes / (9 personnes)</i>	AGORAH (4) APMR (2) SREPEN (1) Vie Océane (1) <i>4 organismes / (8 personnes)</i>

*assimilé à

Les classes *Institut de Recherche* et *Bureaux d'Etudes* restent vides pour deux raisons : tout d'abord, la plupart des instituts de recherche et des bureaux d'études intéressés par les problématiques relatives à la télédétection et au satellite ont participé au projet AGIL (IRD, CIRAD, IFREMER, BRGM, BRLi). D'autre part, il faut rappeler que c'est une *démarche utilisateurs* dont il s'agit. Nous cherchions donc à tester la pertinence des produits AGIL auprès des organismes opérationnels, considérés comme potentiels utilisateurs.

L'échantillon d'enquête s'avère donc relativement représentatif puisqu'il couvre les 4 statuts possibles de ce que nous avons considéré comme des organismes opérationnels.

L'intérêt de cette classification réside dans la possibilité de différencier les organismes chargés de la décision, de ceux chargés de la gestion, et de comprendre ainsi les interrelations entre organismes de statut différent. La figure 39 montre que les organisations professionnelles, les administrations et les associations que nous avons rencontrées se positionnent comme organismes opérationnels, alors que les collectivités locales représentent la seule entité décisionnaire. Les organisations professionnelles et les administrations sont chargées de faire le relais entre le terrain et les instances de décision, tandis que les associations ont un rôle de conseil. En retour, les collectivités territoriales financent les organisations professionnelles et les administrations qu'elles chargent d'assurer le volet d'aide à la décision par le biais de diagnostics et d'expertise de terrain. A ce titre, il nous a semblé important de différencier les communes des autres collectivités territoriales dans la mesure où elles agissent aussi de manière directe sur le terrain tout en gardant un rôle de décision.

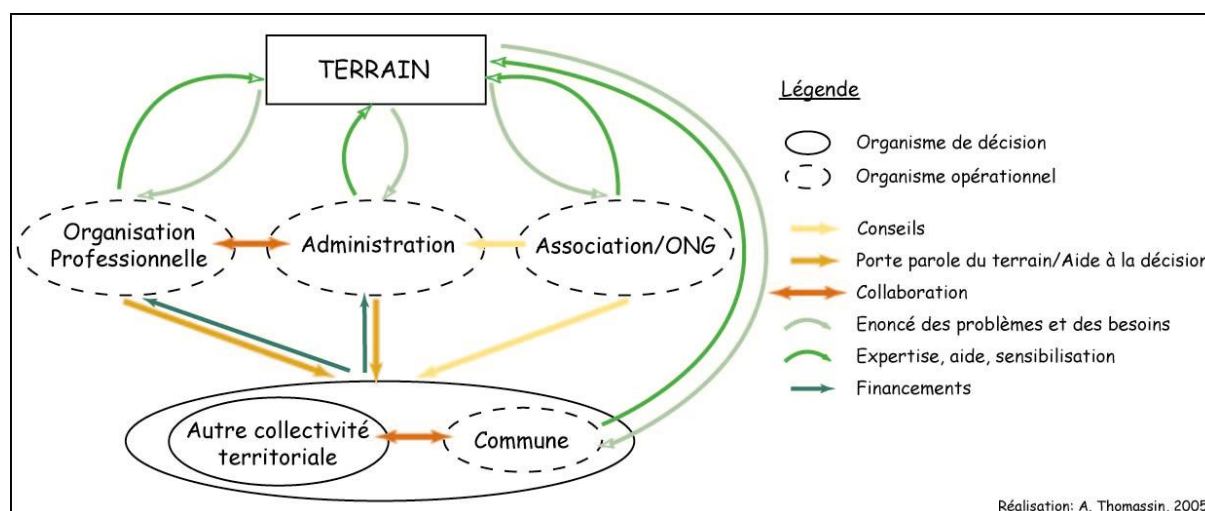


Figure 39 - Les relations inter institutionnelles parmi les acteurs rencontrés

Nous nous devons de nuancer ces propos en ce qui concerne les deux associations que sont l'AGORAH et l'APMR. La première assure en effet un rôle certain d'expertise puisque son fonctionnement pourrait être comparé à celui d'un bureau d'étude. La seconde occupe une place décisive dans la protection de l'environnement littoral étant données ses actions de concertation au sein du projet de Réserve Marine Naturelle. Rappelons, à ce titre, qu'il est prévu que son statut évolue afin qu'elle devienne, à terme, un syndicat mixte en charge de la gestion du milieu récifal.

Classification des personnes rencontrées selon le rôle qu'elles occupent dans l'échelle de décision

Si l'on réfléchit non plus en terme d'organismes mais plutôt en considérant les personnes rencontrées au cours des entretiens, il nous a paru intéressant de vérifier si les opinions recueillies dépendent du poste occupé dans l'échelle de décision : gestionnaire ou décisionnaire. C'est pourquoi il nous a semblé important de caractériser notre échantillon d'enquête en différenciant :

- *Les postes de décision*: ce sont les Présidents, les Directeurs, les Elus ainsi que leurs adjoints et les chefs de services
- *Les postes de gestion opérationnelle*: ce sont les consultants, les chargés d'études, les ingénieurs, les chargés de mission et les personnes travaillant au contact direct avec le terrain

Sur les 46 personnes enquêtées, 22 personnes occupent des postes de direction et de décision, alors que les 24 autres représentent les postes de chargés d'études, de propositions et de gestion effective.

Avec cette classification, le Président d'une association sera classé, au même titre qu'un Elu de la Région dans les postes à décision. Comparativement, leur pouvoir de décision et d'action sur le territoire n'est, certes, pas le même. Cependant, ils ont tous deux une vision globale de leur action et des relations entre les différents acteurs ce qui constitue une information précieuse dans la réflexion autour de la GIZC.

La synthèse de cette distinction entre les personnes chargées des postes de décision et les personnes occupant des postes opérationnels a été ensuite effectuée par organisme.

Au sein de 8 d'entres eux, nous avons pu rencontrer les deux types de personnes. 8 autres organismes n'ont été représentés uniquement par des personnes en charge des décisions, tandis que 6 autres l'était par des personnes occupant des postes opérationnels (Tableau 7).

Tableau 7 Distinction par organismes des postes de décision et des postes de gestion opérationnelle occupés par les personnes enquêtées

Position des personnes rencontrées	Nombre d'organismes
Décision + Opérationnalité	8
Décision	8
Opérationnalité	6

Classification des organismes selon le(s) milieu(x) d'intervention

Enfin, il nous a semblé intéressant de procéder à une troisième classification concernant les principaux milieux d'intervention dans l'Ouest des différents organismes. L'objectif était ici de faire ressortir le maillage institutionnel existant dans cette région.

Nous avons retenus 4 milieux distincts, couramment utilisés dans les documents de planification à la Réunion, chacun caractérisé par une occupation du sol ou une activité dominante. « Du sommet des montagnes, au battant des lames », on trouve :

- Les Hauts : partant du sommet des montagnes (environ 2000 m.), nous avons fixé la limite inférieure à 800 m. d'altitude (correspondant à peu près à le Route Hubert Delisle). Le sol est principalement recouvert par la forêt, on y pratique l'élevage extensif et on peut y observer un très faible mitage.
- Les Mi-pentes : Comprises entre 100m et 800m d'altitude, elles sont caractérisées, en grande majorité, par la culture de la canne (au delà de 800m d'altitude la canne n'est plus majoritaire). On y rencontre d'autres types de culture (maraîchage, vergers...) mais c'est l'activité cannière qui prime sur ce territoire. L'urbanisation y est aussi présente mais la densité diminue plus on monte en altitude pour devenir du mitage urbain.
- Les Bas : Ils sont compris entre la courbe topographique des 100m et la limite haute des arrières-plages. Ces limites permettent d'isoler un territoire sur lequel l'urbanisation est dense et polarisée par la proximité du littoral. On y trouve donc des complexes touristiques mais aussi de plus en plus de lotissements témoignant des tendances halieutropes et héliotropes actuelles.
- Le Milieu Marin : il n'est pas limité au milieu aquatique mais à l'ensemble de l'écosystème littoral (arrière-plage, plage, milieu aquatique). Les plages y sont donc incluses puisqu'elles sont, pour la grande majorité, d'origine corallienne. Les arrières-plages le sont aussi puisqu'elles constituent un stock de sable permettant la reconstitution naturelle des plages après des événements météorologiques violents ainsi qu'une barrière indispensable contre les submersions par la mer.

La figure 40 ci-dessous récapitule la classification.

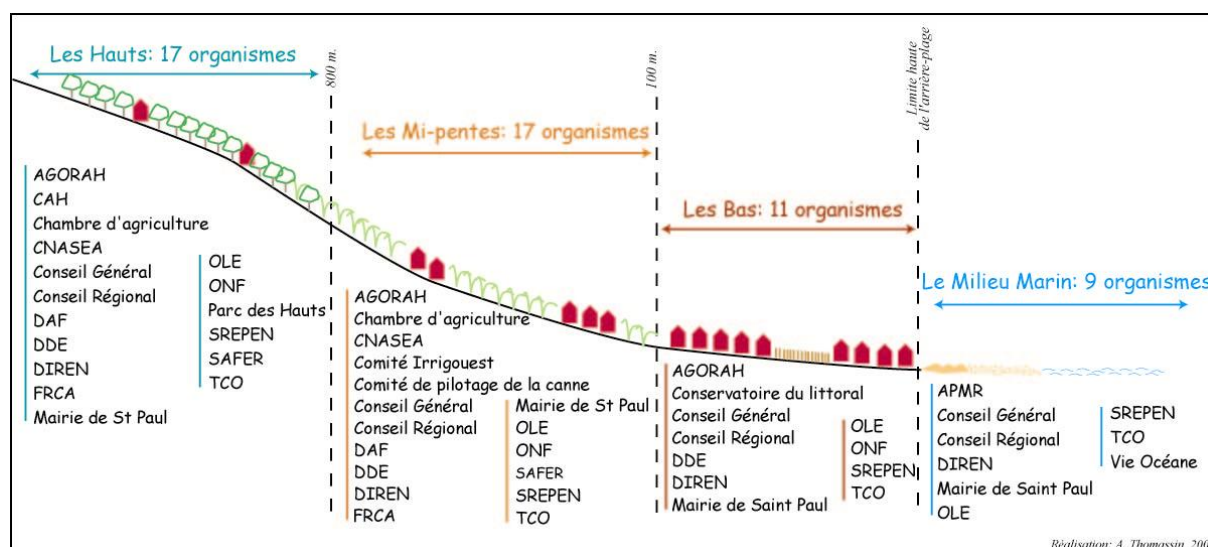


Figure 40 : Milieux d'intervention des différents organismes enquêtés dans l'Ouest réunionnais

Les Hauts et les Mi-pentes sont les milieux sur lesquels le nombre d'organismes mandatés est le plus élevé. Nous rappelons ici que la liste des acteurs n'est pas exhaustive et qu'il en existe sans doute d'autres qu'il faudrait ajouter. Au regard de ce schéma, il semblerait donc que les Hauts représentent le territoire sur lequel se concentre le maximum d'enjeux étant donné le nombre d'acteurs présents.

Conclure ainsi serait une erreur. Il faut faire la différence : être mandaté sur un territoire ne veut pas nécessairement dire qu'on agit effectivement sur celui-ci.

Sur les 22 organismes rencontrés, 7 ont mandat pour intervenir sur l'ensemble de ces 4 milieux, c'est à dire de manière transversale et 8 sur au moins deux milieux différents (Tableau 8).

Tableau 8 - Répartition des organismes enquêtés par milieux d'intervention

Hauts	2	5	3	7
Mi-pentes	2			
Bas	1			
Milieu Marin	2			

Pour ces organismes, il est clair que le poids de leurs actions sur un territoire va dépendre du nombre d'enjeux socio-économiques, démographiques et du nombre d'activités en présence. Dans les Hauts, l'activité économique et la densité de population sont faibles. Parmi les organismes présents rares sont ceux qui ont une action réelle sur la gestion du territoire. En revanche, sur les Mi-pentes ou dans les Bas, les enjeux en termes agricoles et urbains sont forts. Le nombre d'organismes inter-agissant sur ces milieux constitue un maillage dense et complexe qui prend deux formes :

- la juxtaposition d'institutions ayant des pratiques mono sectorielles (ex. DAF, DDE...) sur des territoires où chaque secteur d'activité est en inter relation avec un autre. Inter relations qui ne peuvent donc pas être prises en compte par ces institutions ;

- la rencontre sur un même territoire de ces institutions à pratique mono-sectorielle avec d'autres institutions dont le mandat, lui, porte sur la gestion transversale des ces territoires (Région, TCO...).

La première classification relative aux organismes donne une vision globale des acteurs et de leurs relations dans l'Ouest réunionnais. La seconde classification nécessite un changement de vision vers une échelle locale. Le couple Décision/Gestion est ici étudié à l'échelle de chaque organisme. L'analyse des perceptions de la GIZC et de l'outil satellite au regard de ces deux grilles de lecture permettra d'établir une typologie des réponses par type d'institution et par statut occupé. Enfin, la troisième classification permettra de spatialiser les types de perceptions afin de comprendre si les milieux d'intervention, avec leurs enjeux et leurs caractéristiques propres, ont une influence sur la perception des organismes y agissant.

3.3.3. Les perceptions des acteurs

Au total, 22 institutions ont été interrogées sur leurs perceptions et pratiques en matière de GIZC. Aucun questionnaire n'a été distribué, les réponses ont été données lors d'entretiens semi-directifs. Par deux fois, deux institutions ont été enquêtées en même temps, il s'agit d'Irriguouest et de la Chambre d'Agriculture puis de la DIREN et de la DDE. Dans chaque cas, les réponses données ont été considérées comme émanant des deux institutions et ont donc été comptées deux fois.

Le dépouillement de la totalité des réponses a permis de définir trois thèmes de discussion :

- a) qu'est-ce que la GIZC ?
- b) quelles sont les contraintes qui affectent ou qui sont susceptibles d'affecter sa mise en œuvre ?
- c) que peut-on faire pour améliorer la GIZC à la Réunion ?

Qu'est-ce que la GIZC ?

Sur les 22 institutions interrogées, 32 réponses ont été exprimées. Hormis un point de vue d'ordre chronologique qui ne rentre dans aucune autre catégorie : la GIZC est présentée comme un processus récent à la Réunion, 31 réponses se rapportent à 17 points de vue différents. Neuf d'entre eux n'ont été cités qu'une fois, trois l'ont été deux fois, un trois fois, deux quatre fois, un cinq fois. Il existe donc presque autant de points de vue que d'institutions interrogées. **Il est à noter que bien souvent la réponse porte plus sur la notion de gestion intégrée que sur la notion de gestion intégrée appliquée exclusivement aux zones côtières.** Cela s'explique par le fait qu'une bonne partie des institutions interrogées a leur champ d'action dans les hauts ou à mi pente (Figure 40). Ces 17 points de vue se structurent en trois grandes catégories (tableaux 9 et 10) :

- les avis négatifs pour lesquels la GIZC est une nébuleuse qui ne sert à rien, voire qui est contreproductive, 4 des 31 réponses exprimées rentrent dans cette catégorie ;
- les avis globalisants pour lesquels la GIZC est assimilée au développement durable ou à une approche globale, 7 réponses ont été faites dans ce sens ;
- les avis mettant l'accent sur l'utilité concrète de la GIZC (20 réponses). Dans cette catégorie, les remarques ont été classées en trois domaines d'utilité : la GIZC permet de créer du lien entre les acteurs, de créer des liens territoriaux ou de participer à l'aménagement et à la gestion du territoire.

Tableau 9 - Classification globale des points de vue se rapportant à la GIZC

Points de vue	Occurrence
La GIZC: une vision négative	4
La GIZC: un concept globalisant	7
La GIZC: une utilité concrète	20
Autre	1
TOTAL	32

Le nombre limité de réponses négatives constitue l'élément marquant du tableau 9. Après les espoirs déçus suscités par le colloque GIZC de 1999, on pouvait craindre que la notion de GIZC soit perçue négativement par la majorité des institutions enquêtées. Il n'en est rien. Que 7 réponses l'assimilent à un concept globalisant peu ou prou assimilé au développement durable est au contraire éminemment positif car le développement durable fait aujourd'hui l'objet à la Réunion d'une politique hardie fondée sur la mise en place d'un Agenda 21 régional.

D'une manière générale, les 20 points de vue faisant référence à une utilité concrète de la GIZC reflètent

- soit la pratique qu'ont les personnes et institutions interrogées de ce qu'ils pensent être la GIZC,
- soit les thèmes sur lesquels ils travaillent quotidiennement et leurs principales préoccupations en la matière.

Tableau 10 - Classification de détail des points de vue se rapportant à la GIZC

La GIZC: une vision négative	
Points de vue	Occurrence
"la GIZC n'existe pas"	2
"La GIZC n'est pas claire"	1
"La GIZC = absence de décision"	1
TOTAL	4

La GIZC: un concept globalisant	
Points de vue	Occurrence
"GIZC = approche globale"	4
"GIZC = développement durable"	3
TOTAL	7

La GIZC: une utilité concrète		
Type d'objectif	Points de vue	Occurrence
Aménager et gérer le territoire	"La GIZC facilite l'élaboration des documents-cadres de planification"	4
	"La GIZC favorise l'intercommunalité"	2
	"La GIZC permet d'obtenir des labels d'écocertification"	1
	"La GIZC permet de gérer le territoire pour l'intérêt collectif"	1
	"La GIZC permet de lutter contre l'urbanisation sauvage"	1
	"La GIZC permet d'associer deux thématiques sectorielles dans une même institution"	1
	Total	10
Créer du lien entre les acteurs	"La GIZC permet d'aller à des réunions et de participer à des études transectorielles"	2
	"La GIZC favorise le partage de l'information"	1
	"La GIZC favorise une démarche participative inter institutionnelle"	1
	Total	4
Créer des liens territoriaux	"La GIZC permet de faire le lien entre le littoral et le bassin versant"	5
	"La GIZC permet de faire le lien entre les Hauts et les Bas"	1
	Total	6

Ainsi dans ce dernier registre, il est remarquable que 16 réponses considèrent que la GIZC a pour objectif d'œuvrer pour l'aménagement du territoire et pour une meilleure prise en compte des relations entre le littoral et les bassins versants dans les politiques publiques et les projets qui en découlent. Ces points de vue dénotent une prise de conscience du cloisonnement spatial comme institutionnel qui affecte les pratiques des aménageurs et de la nécessité de briser ce cloisonnement. **L'élaboration de documents cadres de planification est désigné comme objectif principal de la GIZC.** La nécessité de faire le lien entre littoral et bassin versant semble assez claire pour élaborer des schémas directeurs d'aménagement plus efficaces. **En revanche l'unanimité ne se fait pas pour prendre le bassin versant comme unité de gestion.** En ce sens, une réponse considère que le cadre de la GIZC doit être obligatoirement de nature administrative car l'aménagement est piloté par des documents directeurs de type SAR, SCOT, PLU. Mais alors, la structuration des services administratifs étant sectorielle, a-t-on vraiment besoin d'une démarche trans-sectorielle comme le propose la GIZC ?

Les réponses figurant dans les tableaux 9 et 10 montrent que les acteurs de terrain s'approprient progressivement la GIZC ou du moins son idée. La diversité des réponses concernant la nature de la GIZC révèle que la notion est perçue comme floue par les acteurs. Mais une autre lecture peut être faite soulignant l'intérêt de ce manque de clarté permettant à chacun de s'approprier la GIZC à sa manière¹⁵.

Parmi les objectifs assignés à la GIZC en matière d'aménagement du territoire, on ne s'étonnera pas de voir citer la « lutte contre l'urbanisation sauvage ». Le mitage des surfaces agricoles par une urbanisation qui serait non contrôlée constitue en effet un élément marquant des rapports « ville/campagne » à La Réunion, perçus par les partisans de l'agriculture comme une compétition pour un espace limité. En revanche, l'intérêt porté à une gestion intégrée bassins versants/littoral pour mettre en place une écocertification des produits agricoles dans le cadre de pratiques culturelles répondant à un cahier des charges s'inscrivant dans cette démarche GIZC est plus surprenant, mais en même temps très encourageant. Ce point de vue témoigne en effet d'un souci évident de valoriser l'agriculture en mettant en avant son image de respect de l'environnement.

Dans le même ordre d'idées, citons l'initiative de la DAF et du CNASEA. Afin de faire prendre conscience aux agriculteurs de l'impact potentiel de leurs pratiques culturelles sur le récif, leurs exploitations étant situées sur les bassins versants en amont du littoral récifal de La Réunion, une carte de vulnérabilité du milieu récifal à l'agriculture sur les bassins versants a été produite. Elle classe ces derniers selon leur degré d'impact sur les zones côtières remarquables. L'élaboration de cette carte a fait l'objet de plusieurs réunions au cours desquels spécialistes du milieu agricole et du milieu marin ont dialogué. Même si cette action relève d'une démarche mono-sectorielle, il s'agit néanmoins d'une démarche de GIZC car elle repose sur la mobilisation de connaissances multisectorielles.

La mise en place de corridors de biodiversité le long des ravines entre le Parc des Hauts et la future Réserve nationale marine participe également de cette logique de gestion des bassins versants assurant un lien entre les hauts et les bas.

¹⁵ Cette familiarisation en cours des praticiens de l'aménagement et de la gestion des bassins versants et du littoral avec la GIZC conduit à remettre en question le rôle des scientifiques qui depuis 1999 étaient porteurs de l'idée GIZC à La Réunion. Ils se retrouvent maintenant confinés à leur rôle de producteur de connaissances sur le milieu marin. D'ailleurs, plusieurs fois durant les entretiens, nos interlocuteurs se sont étonnés de l'intérêt des chercheurs pour la GIZC en tant que processus de gestion et du caractère gratuit des produits satellitaires présentés. Ces réactions semblent montrer que les acteurs considèrent désormais la GIZC comme un projet de gestion du territoire comme les autres. A ce titre, tout projet de GIZC devrait obéir aux pratiques habituelles régissant les études dans ce domaine : a) les projets sont initiés par les collectivités territoriales ou les administrations qui s'y rattachent ; b) ces projets sont conduits par des bureaux d'étude ; c) les scientifiques produisent des connaissances nouvelles sur les écosystèmes, la géologie ou la géomorphologie littorale mais n'interviennent pas dans la gestion.

Les contraintes en matière de GIZC

Si d'une manière générale, les personnes interrogées ont un avis positif sur la GIZC et souhaitent qu'elle se développe à la Réunion, plusieurs d'entre elles admettent que cette mise en œuvre risque de se heurter à de nombreuses contraintes. Au total, dix huit contraintes ont été identifiées (Tableau 11).

Elles se rattachent à trois thématiques :

- la gestion de l'information,
- la gestion des projets,
- l'élaboration et mise en œuvre des politiques publiques.

Tableau 11 - Typologie des contraintes

Contraintes affectant la gestion de l'information	
	Occurrence
Peu de partage de l'information	3
Absence d'un espace d'échange et de mise en cohérence des données	3
Manque de volonté de partager les données	2
Echanges limités avec les collectivités	2
Outils et données insuffisantes	2
Manque de connaissance sur les acteurs et la société	1
Manque de prise en compte des points de vue des ONG environnementales	1
Total	14

Contraintes affectant la gestion des projets	
	Occurrence
Suivi-évaluation déficient des projets	3
Projets se cantonnent à la phase de diagnostic pas de décision	2
Manque de porteurs de projets GIZC	2
Gestion dans l'urgence	1
Vulnérabilité des projets aux individus qui les portent	1
Manque de procédures permettant de labelliser un projet GIZC	1
Absence d'indicateurs de pilotage et de suivi de la GIZC	1
Total	11

Contraintes affectant l'élaboration et la mise en œuvre des politiques publiques	
	Occurrence
Absence de cohérence entre les projets d'aménagement et de développement	2
Manque de coordination inter institutionnelle	1
Manque de cohérence des documents de planification territoriale	1
Absence de coordination des actions relevant de la GIZC	1
Total	5

La contrainte la plus importante est relative à l'échange d'informations. Cette thématique a été mentionnée 14 fois montrant que les acteurs la considèrent comme le facteur d'handicap à la mise en place effective de la GIZC le plus important. Elle se décline selon 7 contraintes dont deux d'entre elles - le manque de partage de l'information et l'absence d'un espace d'échange et de mise en cohérence des données - sont citées chacune trois fois.

Les contraintes affectant la gestion des projets sont citées onze fois. Le manque de suivi-évaluation est cité comme la plus fréquente d'entre elles. Aussi est-il souvent difficile de faire des retours d'expérience sur les projets mis en oeuvre.

Les souhaits pour améliorer la GIZC

De cette typologie des contraintes (Tableau 11) découle des souhaits pour améliorer la GIZC ou lever une partie de ces contraintes en mettant en œuvre une démarche GIZC. Il convient cependant de ne pas faire preuve d'angélisme et de tirer partie de l'expérience passée. Ainsi le colloque GIZC de 1999 a-t-il été organisé par une cellule de coordination interinstitutionnelle au service de l'environnement qui mettait en commun les ressources humaines et financières de l'Etat (la DIREN) du Département et de la Région. Cette cellule, la CLOE, a fonctionné de 1995 à 2000 mais n'a pas perduré à « l'usure du temps ». Mettre en place une structure de pilotage de la GIZC ne suffit donc pas. Il convient d'assurer des moyens financiers sur le long terme et d'avoir les personnes compétentes nécessaires et des objets communs et concrets d'étude.

En matière de partage de l'information, des expériences ont déjà été tentées, le club d'utilisateurs de la BD topo en est une bonne illustration qui, aux dires de la majorité des enquêtés, ne fonctionne pas au mieux. Ces expériences montrent qu'une structure de partage de l'information est une condition nécessaire mais non suffisante à ce partage. Elle doit être complétée par une volonté de tous les protagonistes de partager cette information.

3.3.4. Analyse par produits

AGIL a permis le développement de plusieurs études concernant l'ouest Réunionnais dont les principales caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 12. Chaque étude a donné lieu à la production de cartes, hormis l'étude 7 qui est encore en développement.

Mode d'Occupation des Sols

Il nous faut distinguer les produits des études 1 et 2 de celui de l'étude 3. En effet, le MOS AGIL est le seul à posséder une nomenclature permettant d'isoler les différents types d'activités agricoles.

Produits issus des études 1 (Mode d'occupation des sols TEMOS comprenant une classe « zone urbanisée ») et 2 (Mode d'occupation des sols TEMOS)

- Domaine d'utilisation :

Les MOS de 1989 et 2002 à 20m pourront être utilisés pour définir les tendances ainsi que la répartition géographique des changements entre grands types d'occupation des sols (couvert boisé/couvert herbeux/couvert urbain). Ces évolutions générales sont particulièrement pertinentes lors de l'établissement de diagnostics environnementaux pour la constitution de document d'aménagement comme les SCOT, SAR et charte agricole communale. Elles

constituent également l'une des données de base, qui couplée avec d'autres permettent de déterminer les grands phénomènes comme l'évolution des risques d'érosion ou des stocks de carbone de la région. Ces données sont également les seules disponibles pour évaluer géographiquement des politiques publiques de manière homogène sur le territoire de la Réunion depuis 1989.

Tableau 12 - Les produits AGIL*

n°	Titre	Date de validité	Zone concernée	Résolution spatiale	Type de données et d'outils utilisés
1	Mode d'occupation des sols TEMOS (comprenant une classe « zone urbanisée »)	1989 2002	île	1/100000 (20m)	- classification supervisée (ERDAS) d'image satellite SPOT - repérages de terrain
2	Mode d'occupation des sols TEMOS	2003	île	1/25000 (2,5m)	- classification supervisée (ERDAS) d'images satellitaire SPOT - repérages de terrain
3	Mode d'occupation des sols AGIL	2003	Quart ouest	1/25000 (2,5m)	- classification supervisée orientée objet (E-cognition) d'image satellite SPOT - repérages de terrain - expertise de terrain (APR)
4	Baî et tâche urbaine	2003	île	1/25000 (2,5m)	classification supervisée orientée objet (E-cognition) d'image satellite SPOT
5	Analyse multicritère de la vulnérabilité des sols à l'érosion	1995 2002	bande de terre entre la Grande ravine et la ravine Saint Gilles	1/100000 (20m)	- carte d'occupation de sols (classification supervisée + repérages de terrain) - carte morpho-pédologique (Raunet) - carte topographique
6	Analyse multicritère de l'aléa érosion	2003 2005*	Quart ouest	1/50000 (10m)	- carte d'occupation de sols (MOS AGIL) - carte morpho-pédologique - carte topographique - cartes saisonnières des précipitations moyennes ou extrêmes* - modèle numérique
7	Analyse du ruissellement	2004	- Bras Canot - ZAC de Rocfeuille - route « cannière »	1/25000 (2,5m)	- observations de terrain
8	Suivi du trait de côte	1950 1989 1997 2002-04	- Cône de déjection de la Rivière des Galets	1/25000 (2,5m)	Photo-interprétation d'image satellite SPOT, d'orthophoto, et de photo aériennes
9	Dynamique géomorphologique récifale	1987-89 1990 2000-01	lagon	1/100000 (20m)	classification non supervisée (ERDAS) d'image satellite SPOT
10	Cartographie du milieu récifal	2003	lagon	1/25000 (2,5m)	classification non supervisée (ERDAS) d'image satellite SPOT
11.	Cartographie du milieu récifal	2003	lagon	1/25000 (2,5m)	- classification supervisée orientée objet (e-cognition) d'image satellite SPOT - orthophoto du lagon
12	Température de surface des océans	1992- 2005	Océan Indien	1/60 degré à l'équateur	Synthèse glissante sur 5 jours de données satellitaires NOAA

*L'étude de la bathymétrie à l'aide du capteur aéroporté CASI ne figure pas dans cette liste car elle n'a pas été présentée aux utilisateurs potentiels.

Si le MOS 2003 à 2,5m est réactualisé, les nouvelles cartes pourraient servir à suivre l'évolution du MOS engendrée par de grands aménagements comme la « route des tamarins » ou le « basculement des eaux ».

Ces nouvelles données pourraient également être utilisées pour suivre et contrôler le défrichement illégal, ainsi que la repousse des forêts après de grands incendies. Ce type d'utilisation nécessiterait une réactualisation annuelle voire trimestrielle des cartes. Enfin, les MOS 1989, 2002, et 2003, bien qu'ayant des nomenclatures trop frustes pour donner directement une information sur l'assolement agricole, représentent cependant une source supplémentaire d'informations qui permettrait d'aider à interpréter d'autres données. Par exemple, une comparaison entre la surface en « canne » du MOS 2003 avec le parcellaire cannier enregistré à la DAF pour cette même année a été envisagée afin de concentrer les efforts de vérification sur les zones de divergence entre ces deux « estimations » (même idée entre la classe « prairies d'élevage » du MOS 2003 et le parcellaire prairial de cette même année).

- Remarques/Améliorations

La faible précision des nomenclatures des MOS à une résolution spatiale de 20m limite clairement leurs utilisations. Même à 2,5m, la nomenclature du MOS de 2003 ne permet pas d'identifier à proprement parler l'étendue couverte par une activité clé comme l'agriculture. Ce point est d'ailleurs mentionné dans le guide utilisateur qui sera distribué avec les données. Ce manque de précision est lié d'une part à la résolution des données de bases (surtout concernant les MOS 1989 et 2002), d'autres part au logiciel utilisé (ERDAS). Il est en partie levé avec le produit MOS AGIL.

Le guide utilisateur de ces données est très attendu, afin de définir avec précision les limites de ces produits et les marges d'erreur. Ces informations sont nécessaires autant pour utiliser soi-même à bon escient cette base de données que pour identifier une mauvaise utilisation par d'autres.

Une nouvelle exploitation de ces cartes serait envisageable si leur procédure de traitement est suffisamment automatisée pour permettre une réactualisation du MOS dans le mois suivant un événement donné. On pourrait ainsi évaluer l'étendue des surfaces brûlées après un grand feu, afin d'accélérer les procédures d'indemnisation.

Enfin, plusieurs organismes nous ont rapporté leurs suspicions concernant l'étendue du recul de la limite forestière entre les cartes de 1989 et de 2002, notamment du fait que la culture sous géranium n'est pas identifiée en 1989.

Produit issu de l'étude 3 (Mode d'occupation des sols AGIL)

- Domaine d'utilisation

Si le MOS AGIL est réactualisé, on retrouve la plupart des utilisations envisagées pour le MOS TEMOS 2003 de suivi et contrôle des changements d'occupation des sols. Cependant, la nomenclature plus détaillée de ce MOS, distinguant la canne, des prairies et d'une classe mixte « arboriculture, vergers et maraîchage », permet d'observer des changements plus détaillés. Cette distinction est essentielle lorsqu'on s'intéresse à une évaluation de l'aléa érosion ou lorsqu'on doit considérer le type de fertilisation employée.

- Remarques/Améliorations

Trois critiques sont revenues assez fréquemment :

- Tout d'abord, la couverture géographique du MOS réduite à la sous région ouest empêche toute utilisation généralisée à l'île.
- Un ensemble de remarques concerne la nomenclature et sa terminologie. La nomenclature du MOS AGIL privilégie les classes agricoles, distinguant des couverts comme « canne » ou « prairie » alors que les classes de végétations naturelles restent très vagues et ne correspondent à aucune terminologie écologique claire. Pour d'autres acteurs, le niveau de précision de cette nomenclature est trop grand. Ils se contenteraient d'une séparation entre surfaces urbanisées, agricoles, et en forêt. Enfin, des classes supplémentaires ont été demandées par les acteurs du milieu agricole : les friches et le maraîchage. L'identification des friches aiderait à l'évaluation et au suivi des surfaces disponibles pour la « reconquête agricole ». Le terme de friche est cependant à utiliser avec précaution, ces documents servant ensuite de références, notamment lors de l'instruction des demandes de défrichement. La BD Topo de 1997 avait effectivement mis sous cette étiquette aussi bien d'anciennes parcelles agricoles où des pestes proliférant comme le goyavier ou le « bringelier » que des restes de forêt primaire sèche. L'identification du suivi des surfaces en maraîchage tous les 6 mois permettrait une étude de la filière pour laquelle on dispose de très peu de données quantifiables. Enfin, même si la nomenclature reste inchangée, il faut clarifier avec précision ce que signifie chacune des classes.
- La dernière remarque concerne la comparaison entre ce type de carte et les cartes développées par l'IGN à partir d'orthophotos. L'orthophoto est plus précise que l'image SPOT. Elle permet donc plus de traitements et a un pouvoir discriminant plus important (nomenclature plus fine), mais elle est beaucoup plus onéreuse et demande un traitement plus long (réactivité et fréquence d'acquisition moindre pour effectuer des suivis).

Bâti et zones urbaines

On distingue deux types de zones urbanisées selon le taux de densification : les zones relativement densément bâties, et les zones d'habitat dispersé communément appelées « zones de mitage ». Les cartes à 20 mètres ne permettent que d'avoir une estimation grossière des premières. L'identification du mitage nécessite une résolution spatiale beaucoup plus fine comme celle de l'étude 4 (Bâti et tâche urbaine).

- **Domaine d'utilisation**

Encore plus que le MOS, ce type d'information est particulièrement demandé pour la préparation de documents d'aménagement comme le SAR, les SCOT et même les PLU. Il est principalement recherché pour deux types d'études : l'évaluation et le suivi des surfaces urbaines, et son interaction avec le domaine agricole et plus particulièrement les espaces en canne. Ce type de suivi nécessiterait une réactualisation annuelle. La comparaison entre le bâti et la tâche urbaine TEMOS 2003 permettrait d'estimer les îlots potentiellement disponibles pour densifier le bâti.

La comparaison entre les délivrances de permis de construire et le bâti effectif permettra le suivi des constructions illégales. Ce suivi spécifique nécessiterait une réactualisation tous les 2 mois.

- **Remarques/Améliorations**

Comme pour le MOS, la comparaison de la carte du bâti 2003 avec la carte de l'IGN pour la même année a été mentionnée par plusieurs acteurs. De même, une comparaison entre la carte

de la tâche urbaine 2003, celle généralement utilisée dite « du *buffer* » (un simple périmètre de 12 à 20 mètres autour du bâti) et celle construite par l'Agorah serait souhaitée.

Ces comparaisons ont en partie été réalisées par l'Agorah qui en ressort ces quelques points :

- la résolution spatiale des cartes bâti et tâche urbaine 2003 n'est pas de 2,5 m comme la donnée SPOT initiale mais plutôt de 5m.
- l'estimation des espaces urbanisés à 20 m n'est pas pertinente pour des urbanistes qui ont besoin d'informations plus fines comme la densité de l'habitat (en croisant l'étendue au sol des surfaces bâties et leur élévation) ou le nombre de logements à l'hectare.
- Enfin les définitions de la tâche urbaine du produit 4 et celle de l'Agorah bien que différentes donnent des résultats peu différents à une résolution de 5 mètres. La définition de la tâche urbaine par un simple *buffer* donne par contre des résultats fortement surévalués lorsque le bâti est dispersé (mitage).

Enfin, il a été demandé d'automatiser au maximum le traitement de l'image pour permettre une mise à jour simple et rapide.

Erosion/ruissellement

- **Domaine d'utilisation**

La réactualisation 2003 de la carte de l'aléa érosion déjà disponible pour 1997 (BRGM, APR 2002) intéresse tous les utilisateurs de cette information notamment en conseil. Cette nouvelle carte, comme celle plus simple de l'étude 5 (Analyse multicritère de la vulnérabilité des sols à l'érosion), peut servir de référence environnementale pour la planification d'aménagements en localisant précisément les zones à risque. On notera l'utilisation potentielle de cette information pour l'évaluation des dossiers de CAD (contrats d'agriculture durable), et des demandes de défrichement. Ces cartes peuvent donc servir pour orienter le conseil aux agriculteurs entre différentes cultures. Si elle est cultivée en respectant des règles simples de bonnes pratiques environnementales (par exemple, un paillage après récolte), la canne est un couvert particulièrement protecteur des sols, à l'inverse du maraîchage. La généralisation de l'information à l'ensemble de l'île serait cependant une condition requise, la plupart des acteurs travaillant sur toute la région. Ces cartes peuvent également donner du sens aux contraintes de l'appropriation foncière publique.

L'étude du ruissellement est requise lorsqu'on veut utiliser ces informations pour évaluer des aménagements urbains ou simplement routiers. En effet les cartes d'aléa de départ de matériaux ne prennent pas en compte l'impact de l'augmentation d'imperméabilisation liée à de tels aménagements.

- **Remarques/Améliorations**

La principale remarque sur ces cartes concerne leur coté préliminaire : on parle d'érosion potentielle et non d'érosion effective. En effet, les aménageurs ont besoin de données quantitatives et non qualitatives, ce qui souligne le besoin de compléter ces études par des relevés de terrains. Mais ce type de données est très coûteux à recueillir et il n'est pas sur que les organismes souhaitant ce type d'information soit prêt à financer leur coût d'acquisition.

De plus, un aléa est moins pertinent pour un gestionnaire qu'un risque. Le passage de l'un à l'autre suppose le croisement de l'aléa avec les enjeux spécifiques à chaque gestionnaire.

Enfin, ces cartes concernent uniquement le départ de matériaux terrigènes et elles éludent la question du transport, et donc les phénomènes accélérant ou freinant les flux de matériaux

tout le long du bassin versant. Cet aspect est particulièrement important lorsqu'on cherche à évaluer l'impact de choix d'aménagement du territoire et notamment d'urbanisation sur les phénomènes érosifs. Tous les acteurs interrogés ont mentionné un vif intérêt pour l'étude sur le ruissellement et ont demandé à être tenus au courant des résultats.

La couverture spatiale des deux cartes réduite à des bassins versants de l'ouest empêche leur utilisation généralisée sur l'île.

Pour la carte développée par l'étude 6 (Analyse multicritère de l'aléa érosion), l'introduction du facteur précipitation apporte une information pertinente supplémentaire à l'évaluation de l'aléa érosion mais est également sources d'erreurs potentielles. Elle permet cependant de véritablement traiter de l'aléa érosion, cet aléa étant considéré comme le croisement des données de sensibilité des bassins versants à l'érosion avec la variable « agressivité des pluies »).

Des questions ont été posées concernant l'exactitude du traitement des différents couverts vis-à-vis du processus d'érosion. En effet, dans les deux cartes les couverts forestiers sont plus protecteurs que les couverts herbacés comme les prairies. Or le kikouyou (principale graminée présente dans les hauts de l'ouest), très couvrante et avec un système racinaire très développé, est sans doute plus protectrice qu'une forêt d'Acacias. Une forêt de tamarins par contre est sans doute le couvert le plus protecteur qu'on puisse imaginer.

Enfin, la non prise en compte des pratiques culturales est également une limitation. Une canne paillée après la coupe n'a pas du tout le même impact sur le départ de matériaux qu'un sol laissé à nu pendant plusieurs semaines. Plus généralement, l'aspect statique d'un aléa annuel est une limitation en soi du produit. Les aménagements temporaires, comme un chantier de construction ou une transition entre deux cultures, peuvent avoir un impact important sur le départ annuel de matériaux sans pour autant être détectable à tout moment de l'année.

Milieu littoral

Produits issus de l'étude 8 (Suivi du trait de côte)

- Domaine d'utilisation

Les acteurs rencontrés n'ont pas envisagé d'utiliser ces produits.

- Remarques/Améliorations

Le seul endroit de l'île où une étude de l'évolution du trait de côte est recherchée correspond aux plages de sable, dont les fluctuations interannuelles sont trop faibles pour être mesurées par satellite. De plus, l'évaluation de l'évolution des plages nécessite une étude complète de la dynamique des bancs de sable et de la situation d'arrière plage.

Produits issus des études 9 (Dynamique géomorphologique récifal), 10 et 11 (Cartographie du milieu récifal)

- Domaine d'utilisation

L'état actuel de développement de ces cartes n'est pas suffisant pour permettre leur utilisation. Cependant, une fois que leur validation avec des données de terrain sera réalisée, plusieurs usages pourraient alors être envisageables :

- Pour certains acteurs une carte issue de données satellitaires est plus crédible que des mesures de terrains. Ces cartes pourraient venir corroborer des diagnostics déjà existants mais contestés.

- Elles pourraient également augmenter l'efficacité des interventions des éco-gardes en indiquant les zones fragilisées du massif à protéger en priorité.

- Remarques/Améliorations

La distinction entre corail en bonne santé et algue couvrant les structures coralliennes une fois les zooxanthelles expulsées et les polypes morts doit être validée. Les produits actuels sont trop préliminaires.

Il y a une forte demande d'éléments permettant de faire le lien entre les activités sur les bassins versants et états de santé du lagon, notamment pour penser les documents d'aménagement afin de protéger la richesse patrimoniale et touristique que représente le massif corallien.

Une seule estimation de l'état du massif corallien pour 2003 n'est pas suffisante vu la variabilité rapide de l'activité des coraux. Un suivi dans le temps du blanchissement des coraux est nécessaire.

Produit 12 (Température de surface des océans)

Ce produit n'a éveillé que très peu d'intérêt. Ceci est sans doute à imputer d'une part à la résolution spatiale très grossière des données (1 km) peu parlante aux aménageurs d'un territoire essentiellement continental, mais aussi à l'échantillonnage des personnes enquêtées. Pour des raisons d'agenda nous n'avons pas pu contacter les responsables des pêches du département et l'océan ne fait pas partie de l'espace de concernement de la plupart des acteurs enquêtés.

3.3.5. Pertinence et adaptations des produits AGIL

Utilisation des SIG et de l'outil satellitaire par les acteurs concernés

L'utilisation de SIG est récente à la Réunion et tend à se généraliser. Sur les 22 organismes rencontrés, 7 n'étaient pas équipés de logiciel SIG (Arcview ou MapInfo), mais 6 de ces 7 collaborent avec d'autres pour obtenir les cartes qu'ils souhaitent.

La télédétection par contre reste très peu utilisée si ce n'est en fond de carte. Sur les 22 institutions questionnées, seule l'Agorah utilise de l'information satellitaire sous la forme de photo-interprétation et rentre les couches obtenues dans un Système d'Informations Géographiques. L'ONF a fait des essais d'utilisation de l'imagerie satellitaire à plusieurs reprises mais a toujours été déçu. Le comité de pilotage de la canne dit sous-traiter le traitement d'images SIG au Département et à la DAF. Au lieu de se doter de compétences propres d'utilisation des images, les institutions préfèrent généralement demander l'appui de sous-traitants (ainsi l'OLE travaille avec le Cemagref) pour utiliser l'information produite dans les SIG, répandus dans la majorité des institutions enquêtées. Cet outil reste donc encore l'apanage des centres de recherche (IRD, CIRAD, Université de la Réunion), et l'offre du CNES d'utilisation gratuite de la base de données BDISLE a sans doute renforcé cet état de fait.

Les grands domaines d'utilisation : conseil, diagnostic, suivi et contrôle

L'utilisation effective de produits issus de données satellitaires étant limitée, cette partie se focalise sur les utilisations potentielles que les acteurs enquêtés nous ont rapportées concernant les produits présentés. Le tableau 13 résume les domaines d'utilisation et le

nombre d'organismes intéressés par chaque produit. Seuls 19 des organismes enquêtés se sont prononcés (la DIREN, Vie Océane, et l'OLE ne sont pas concernés par le tableau ci dessous). **Ce tableau montre que les produits qui ont suscité le plus d'intérêt sont ceux concernant les problématiques d'érosion (17 organismes), de bâti (14 organismes) et de MOS (12 organismes), les produits purement littoraux n'ayant intéressés que 6 organismes sur 19.** Cependant, l'intérêt des acteurs pour les cartes de MOS et d'érosion est à modérer par la fréquente demande d'amélioration (dans 2 cas sur 3 pour les cartes de MOS et 13 cas sur 15 pour les cartes concernant l'érosion), alors que les cartes représentant le bâti et la tâche urbaine ont été acceptés comme telles lorsque l'organisme décidait qu'il était intéressé par ces produits.

Tableau 13 : Synthèse des domaines d'utilisations des produits AGIL

Produits AGIL (même numérotation que dans le tableau précédent)	Nombre d'organismes intéressés		Domaine d'utilisation (nombre d'organismes)		
	Total	Sous condition de modification	conseil diagnostic	suivi	contrôle
1	7	1	7	2	2
2	11	8	6	6	3
3	12	11	8	7	2
4	14	0	10	8	4
5	15	13	13	1	1
6	15	13	10	2	
7*	9	/	/	/	/
8-9-10	0	0	0	0	0
11	6	6	3	3	1
12	2	1	1	1	

* Cette étude n'est pas encore finalisée. Plusieurs organismes ont mentionné leur intérêt pour ses résultats à venir mais aucune remarque concrète n'a donc été formulée.

Considérant l'ensemble des combinaisons organismes enquêtés/produits AGIL présentés, dans 53% des cas les produits AGIL répondent à un besoin des organismes. Cependant, plus d'une fois sur deux ces produits auraient besoin d'être modifiés pour être directement exploitables par ceux-ci. Ce résultat justifie à lui seul la nécessité d'une « approche utilisateur » dans le projet AGIL. En effet, en identifiant les améliorations exprimées par les organismes le facteur d'impact des produits satellitaires développés peut être doublé.

Notons que l'intérêt pour les produits AGIL est plus développé chez les organismes dont le milieu d'intervention couvre plus d'un domaine (en référence au découpage du site d'étude en 4 domaines : milieu marin, bas, mi pente, et haut). Dans 62% des cas, les produits AGIL intéressent les acteurs concernés par au moins 2 domaines, contre 35% des cas lorsqu'on considère les acteurs concernés par un seul domaine. L'intervention sur de plus grandes surfaces avec plus de partenaires éventuels sensibilise sans doute ces organismes à des données intégratives comme celles que le projet AGIL a tenté de développer.

Enfin, un dernier point remarquable touche les organismes de type association et ONG. Ce groupe est le seul à demander presque systématiquement une amélioration des produits (9 cas sur 10 contre 1 cas sur 2 pour les autres groupes, administration, élus, et organisation professionnelle). Ceci est sans doute à imputer au besoin d'argumentaire fort de ce type d'organisme souvent en position de faiblesse dans les débats liés à l'aménagement du territoire.

Principaux intérêts des produits développés

Les deux principaux intérêts qui sont ressortis de nos enquêtes concernent :

- la haute fréquence et le coût comparativement faible d'acquisition, facteurs qui répondent aux besoins de suivi et de contrôle des aménageurs du territoire ; ces types d'utilisation nécessitant une relative flexibilité d'acquisition.
- la résolution spatiale actuelle de SPOT (2,5 mètres) qui est suffisante pour la plupart des utilisations énoncées par les acteurs enquêtés.

Principales limites des produits

Les améliorations listées portent principalement sur :

- les nomenclatures retenues (imprécises, ou inadaptées).
- la fréquence et l'assurance de la mise à jour des produits.
- la couverture géographique souvent insuffisante. La plupart des organismes gèrent leurs activités en fonction des dynamiques à l'échelle de l'île.
- la comparaison des cartes définies avec les produits déjà existants sur les mêmes thématiques, surtout quand ceux-ci montrent des tendances contradictoires.

Nouvelles demandes

Les demandes de nouveaux développements peuvent se classer en deux grandes catégories :

- Des indicateurs plus intégrés. Il serait enrichissant de croiser les données développées avec d'autres pour obtenir des produits plus élaborés : passer de la cartographie d'un aléa à la cartographie des vulnérabilités du territoire à cet aléa pour aboutir à une carte globale des risques qui intégrerait les enjeux. Ce qui suggère une interaction plus assidue entre développeur et utilisateur.
- Des produits visant le développement d'une « filière » donnée (et de ce fait moins intégrés). Ces produits sont listés en annexe.

3.4. Perspectives et recommandations

3.4.1. Retour sur la démarche

Dès notre présentation de la méthodologie, nous avons décrit les limites et intérêts de l'approche que nous proposons. Nous ne reviendrons pas ici sur ce point. Cette étude éclaire les constats réalisés quant à l'appropriation de la GIZC mais également quant à l'appropriation des outils satellitaires. Revenons ici sur les points les plus marquant de notre travail :

1. les personnes enquêtées sont les utilisateurs potentiels des outils satellitaires ayant des actions sur un territoire englobant les bassins versants et le littoral. L'identification de ces acteurs faite à partir de l'analyse à dire d'experts des processus naturels et anthropiques susceptibles de dégrader le milieu récifal s'est ensuite enrichie du discours d'autres acteurs désignés pour compléter notre population. La majorité des utilisateurs a été ainsi interviewée. Cependant, il est à noter que le milieu marin se retrouve sous représenté dans notre effectif : le Comité du tourisme Réunionnais, les acteurs de la pêche, etc... Mais cela s'explique en partie par le choix d'effectuer une « approche utilisateurs » plutôt qu'une « approche acteurs ».

2. la notion de gestion intégrée des zones côtières telle que penser par les scientifiques, c'est-à-dire une gestion prenant en compte non seulement l'espace maritime, le littoral et les bassins versants adjacents, est peu appropriée par les utilisateurs potentiels des outils satellitaires que nous avons enquêtés. Un constat : rare sont ceux à la mettre en pratique dans leurs activités. Pour beaucoup, elle est le fruit soit de l'intégration entre des acteurs d'une même portion d'espace, soit elle résulte du caractère transversal des enjeux de son action sur le territoire. Ainsi, on constate que le milieu agricole est sans doute celui qui s'est approprié le plus la notion de gestion intégrée du territoire même si son espace de concernement ne descend pas jusqu'au littoral. L'explication est sans doute à rechercher dans les mutations de l'agriculture obligée de considérer de plus en plus ses interactions avec l'environnement.
3. Un autre constat, malgré son importance pour le futur de l'île, l'eau n'a pas été mentionnée comme étant un élément prioritaire de la gestion intégrée du bassin versant.
4. L'image satellite est très peu employée à la Réunion et son utilisation demeure confinée au milieu scientifique ou universitaire. Les administrateurs du territoire, les porteurs d'enjeux sociaux (associations, ONG, coopératives) n'ont bien souvent ni les moyens financiers de se procurer les données ni les compétences pour traiter ce type d'information. Cependant la demande est forte de la part de nos interlocuteurs pour avoir accès aux images satellites et les utiliser essentiellement pour réaliser un suivi-évaluation et/ou du conseil dans leurs actions. De ce fait la démarche proposée basée sur des produits conçus par ailleurs a permis de faire découvrir à nos interlocuteurs les potentialités du satellite. Ce faisant, ils ont été plus à même de proposer des modifications des produits présentés ou plus encore de faire de nouvelles propositions de traitements pour répondre au mieux à leurs besoins.

Globalement, pour sa promotion, il faudrait que la GIZC soit un peu plus associée aux « documents cadre de planification ». Ceci signifie que l'accent devrait être mis sur la mise en cohérence et l'harmonisation de ces différents documents cadres, tant au niveau des échelles de représentation et de travail, afin d'aller vers une meilleure efficacité de la planification territoriale

3.4.2. Recommandations

Comparée aux perceptions des aménageurs lors du colloque PRE-COI de 1999, la notion de Gestion Intégrée des Zones Côtières commence à être reconnue par certains acteurs du développement de l'île. Ce début de prise de conscience, associée à des enjeux touristiques et économiques grandissants autour du lagon, font de la Réunion un terrain favorable pour de prochains projets GIZC. Cependant, la concrétisation de ces projets nécessiterait de continuer à promouvoir, tant financièrement que par des appuis méthodologiques, une vision intégrée du territoire.

A la Réunion comme ailleurs, il semble que la GIZC se heurte aux différences de représentations territoriales entre acteurs. La vision GIZC se voulant intégratrice du bassin versant et du littoral dépasse les frontières institutionnelles auxquelles les organismes ont l'habitude de raisonner, favorisant ainsi l'efficacité globale de la planification territoriale.

Comme exposé précédemment, l'expertise satellitaire reste essentiellement le fait des organismes de recherche, organismes qui ont du mal à formaliser leurs connaissances sous une forme exploitable par les décideurs/gestionnaires. Une façon de promouvoir l'utilisation des images satellites pour la GIZC serait de financer des projets mixtes, associant collectivités

locales et instituts de recherche. L'appel d'offre de la DATAR devrait permettre de réaliser ce défi.

Enfin, si l'intérêt pour les produits AGIL concerne essentiellement des utilisations du type conseil et diagnostic, on note une émergence certaine de demandes de suivi et de contrôle. Si l'on souhaite répondre à cette demande, un certain nombre de considérations techniques et organisationnelles sont à prendre en compte.

- Il serait possible d'améliorer la flexibilité d'acquisition en augmentant la fréquence d'obtention des images.
- Il existe une demande d'automatiser les procédures de traitement des données satellitaires pour la détection du bâti et le contact agriculture / forêt.
- Afin d'assurer un suivi dans le temps des observations, la standardisation des procédures de traitement doit éviter que les produits passés ne soient plus utilisables du fait d'améliorations techniques.
- Pour le suivi-évaluation des dynamiques du territoire et de l'impact des politiques publiques, l'exemple d'AGIL montre la nécessité d'élaborer avec les acteurs des indicateurs qui dépassent la simple description pour tendre vers le pilotage du territoire.
- Plusieurs thématiques d'AGIL (notamment l'occupation du sol et le récif) ont illustré le besoin de clarifier les nomenclatures cartographiques utilisées. La question se pose d'une standardisation au niveau des DOM, permettant la comparaison intersites à grande échelle ($1/25\ 000^e$ à $1/50\ 000^e$), les nomenclatures actuellement en vigueur comme *corine land cover* étant à petite échelle ($1/100\ 000^e$ à $1/500\ 000^e$). L'adaptation de ces nomenclatures internationales standard à une échelle plus fine correspondant aux enjeux insulaires se pose donc.
- la fauchée du capteur satellitaire n'est pas assez étendue pour couvrir en même temps le lagon et le volcan. La décision a récemment été prise d'acquérir une antenne de réception pour l'île pour inclure plus systématiquement le lagon.
- Enfin, la création d'un organisme indépendant en charge de centraliser et d'assurer le partage des informations a été souvent évoquée. Deux initiatives locales sont à évoquer à ce sujet : le projet de création d'un observatoire du territoire au sein du TCO chargé de regrouper l'information géographique sur l'Ouest réunionnais, ainsi qu'un projet de Pôle de la télédétection à la Réunion fédérant l'Université de la Réunion et les différents instituts de recherche s'intéressant à la télédétection.

4. LE SYSTEME AGIL

4.1. Description

4.1.1. Concepts fondateurs

Logiciel libre et géomatique

L'expression « logiciel libre », fait référence à la liberté pour tous (simples utilisateurs ou développeurs) d'exécuter, de copier, de distribuer, d'étudier, de modifier et d'améliorer un logiciel. Plus précisément, elle fait référence à quatre libertés pour un individu *ayant acquis une version du logiciel*, définies par la licence de ce logiciel :

- la liberté d'exécuter le programme, pour tous les usages ;
- la liberté d'étudier le fonctionnement du programme, et de l'adapter à ses besoins ;
- la liberté de redistribuer des copies ;

- la liberté d'améliorer le programme et de publier ses améliorations, pour en faire profiter toute la communauté.

Le concept de logiciel libre n'est pas récent, puisqu'il a été explicité par Richard Stallman, fondateur du projet GNU, dès le début des années 80. Cependant, après avoir été longtemps réservé à une élite universitaire, le logiciel libre a été propulsé dans la sphère économique au début des années 2000 grâce à son adoption par de grandes sociétés telles qu'IBM, Hewlett-Packard et plus récemment Sun Microsystems. Conformément à la philosophie qu'ils sous-tendent, les logiciels libres ont massivement bénéficié des efforts financiers de ces sociétés, au travers d'actions de sponsoring de leurs principaux développeurs.

La géomatique a, comme la plupart des domaines liés aux nouvelles technologies, des projets collaboratifs mettant en oeuvre des solutions libres pour le traitement de l'information géographique. Les produits issus de ces initiatives couvrent parfois des domaines très ponctuels, ou bien au contraire ont une vocation plus généraliste. Dans la majorité des cas, la réalisation du produit provient d'un besoin bien particulier, et sa conception n'a pour objectif que l'accomplissement de la tâche désirée, et non la réalisation d'un produit suffisamment structuré pour offrir une base à un développement plus large. Jusqu'à une période récente, la seule solution complète et performante en matière de géomatique libre était le projet GRASS.

Ce dernier est le résultat de plusieurs dizaines d'années de développement, et fait partie des plus gros projets à code source ouvert toutes catégories confondues. Comme son développement s'est fait au fil des besoins, la seule solution pour fédérer un tant soit peu ses capacités de traitement, a été de structurer chacun des traitements sous forme de petit module applicatif, ces modules étant ensuite regroupés par catégorie de traitement (vecteur, raster, imagerie, etc ...). Ce mode de structuration très tourné vers l'usage et non le développement, en a fait un produit complexe d'utilisation, et très difficilement évolutif en terme de développement. C'est fort de ce constat que des développeurs ont cherché à concevoir des projets libres alternatifs à GRASS, dont la philosophie de conception permette une plus grande souplesse en terme de développement, et au final une capacité à répondre au mieux aux attentes du moment du point de vue de l'utilisateur.

La création de ces projets libres a finalement donné une impulsion nouvelle au logiciel libre dans le domaine de la géomatique, d'autant que leur émergence est contemporaine à un effort massif de standardisation de l'ensemble de l'industrie de la géomatique, et ce, dans le but d'accroître l'interopérabilité entre les solutions existantes.

4.1.2. Les standards en géomatique

Le paysage des systèmes d'information géographique et de la télédétection a longtemps évolué au gré des avancées technologiques mises en oeuvre par les éditeurs de logiciels. La course effrénée de ces derniers pour l'occupation d'un marché très prometteur, et la préservation de leurs technologies respectives, a conduit à un cloisonnement du marché de la géomatique, et par conséquent un obstacle à l'échange d'informations géographiques entre usagers, aboutissant à un risque de ralentissement de l'intégration de l'information géographique au sein des systèmes d'entreprises.

En réponse à ce réel besoin, plusieurs initiatives ont été à l'origine de standards concernant la gestion de l'information géographique. Ces dernières années l'ensemble de ces groupes de travail ont participé à l'élaboration et entériné l'adoption de la norme ISO/TC 211 comme standard de description de l'information géographique, et de ses métadonnées. Parmi ces organismes, l'Open Geospatial Consortium, représentatif de l'ensemble des acteurs industriels du monde de l'information géographique ainsi que des universités. Historiquement, l'OGC

proposait des normes ouvertes couvrant l'ensemble des besoins en termes d'information géographique. Depuis 2001, l'OGC met à disposition gratuitement l'ensemble des normes de l'ISO/TC 211, et focalise ses travaux sur les services de mise à disposition et de traitement de l'information spatiale. Ces travaux couvrent notamment la définition de services pour la mise à disposition d'informations spatialisées au travers du Web.

L'Europe, de son côté, a engagé des démarches similaires, notamment avec la norme préliminaire volontaire CEN/TC 287, et a poursuivi son initiative de normalisation de l'accès aux données au travers d'initiatives telles que MADAME¹⁶. Cet effort s'est prolongé pour aboutir à la directive INSPIRE, un projet d'infrastructure pour l'exploitation de l'information spatiale permettant d'offrir une information géographique pertinente harmonisée et de bonne qualité en vue de la formulation, de l'exécution, du suivi et de l'évaluation de la politique communautaire. Pour orienter ses choix concernant INSPIRE, l'Europe s'est appuyée sur des comités d'experts, au travers des « Position Papers », et notamment concernant la normalisation, sur « l'Architecture & Standards Position Paper »¹⁷. Ce document identifie clairement les normes de l'ISO/TC 211 et de l'OGC comme pertinentes et nécessaires à la mise en œuvre d'INSPIRE

4.2. Concepts techniques

4.2.1. Projets open source normalisés

Une alternative à la conception d'un produit « clé en main » dévolu à l'exploitation de l'information géographique, était la mise en œuvre d'une boîte à outils de développement dédiée au traitement de l'information spatialisée. C'est donc dans cet esprit qu'est né le projet libre Geotools. Suite à la mise à disposition de spécifications par l'OGC, les membres du projet Geotools ont décidé de refondre intégralement leur boîte à outils de façon à respecter ces spécifications à la lettre. Dès lors, ce projet offre une solution strictement standard et de plus en plus complète pour le développement d'applications en java permettant l'exploitation de l'information géographique.

Parallèlement à ces développements, et de façon à faciliter l'adoption des standards au sein des geotools comme d'autres projets libres, le projet GeoAPI a vu le jour. La finalité de ce projet est la conception d'interfaces de programmation dans le respect strict des standards spécifiés par le comité technique 211 de l'ISO, et l'OGC. Ce projet n'est pas spécifique à un langage de programmation particulier, bien qu'il soit pour l'instant entièrement consacré à la définition des interfaces pour le langage Java.

Cette initiative devrait permettre à terme la création de solutions techniques hétérogènes pour le traitement de l'information géographique, il sera alors possible de combiner différents outils faisant appel à des langages informatiques différents, mais développés sur la base des mêmes interfaces. Alors que pour l'instant les efforts de l'industrie se focalisent sur l'interopérabilité des géodonnées, ces projets open source, apporteront en complément, une interopérabilité au niveau algorithmique.

Un avantage majeur de cette démarche réside dans le fait que chacun des langages de programmation existe afin de répondre à un besoin technique particulier. Et compte tenu du très large spectre d'application et des contextes extrêmement variés rencontrés dans la mise en

¹⁶ MADAME : Méthode d'Accès aux Données et Aux Métadonnées en Europe (PUB 1108 MADAME 24859/0)

¹⁷ INSPIRE AST PP v4-3.

oeuvre des solutions en géomatique, il est dès lors envisageable de faire appel à un langage précis pour répondre à une demande particulière, tout en s'assurant une parfaite interaction avec les autres briques logicielles avec lesquelles il cohabite. (Ex: développement d'un atelier de développement de scripts en python, exploitant un noyau en java).

De façon à s'assurer la plus grande souplesse technologique, et interagir au mieux avec les solutions commerciales, il a été décidé d'adopter des technologies basées sur le projet GeoAPI.

L'utilisation du langage Java et des Geotools comme outils de base permet de surcroît le développement de solutions multi plateformes, permettant un déploiement transparent en environnement hétérogène.

4.2.2. Mise en oeuvre d'infrastructures de données spatiales

Une des pierres angulaires de la mise en oeuvre d'une Infrastructure de données spatiales, est sa capacité à optimiser le stockage et la sécurité des géodonnées. Une des principales solutions techniques facilitant ce postulat est l'usage de Systèmes de Gestion de Bases de Données ayant la capacité à prendre en charge l'information géographique. En effet, outre la capacité de ces systèmes à uniformiser le stockage de l'information géographique vectorielle, il est possible de mettre en oeuvre des opérations complexes de réplication des bases constituées, et ce, y compris dans un contexte géographiquement distribué. Pour l'heure, deux solutions open source existent :

- Postgis, qui fait office de référence comme implémentation open source de la norme SFS-SQL de l'OGC, et dont l'adoption augmente chaque jour tous secteurs confondus.
- MySQL qui depuis sa version 4.1 possède également une implémentation de SFS-SQL.

Il existe d'autres solutions dévolues au stockage de l'information géographique, et bien que propriétaires, celle-ci respectent les spécifications de l'OGC concernant l'interprétation de l'information géographique vectorielle au sein de systèmes de gestion de bases de données (Oracle-spatial, db2 ...etc.).

Puisque l'ensemble des outils conçus pour le stockage de l'information géographique vectorielle (propriétaire ou non) offrent une compatibilité avec les recommandations de l'OGC, il est d'ores et déjà possible d'exploiter des solutions préexistantes, et de les coupler à des solutions open source en toute transparence.

Fort de ce constat, il est donc possible d'envisager le déploiement de surcouches plus évoluées dans un contexte hétérogène, et de ce fait, proposer des « services universels » pour la mise à disposition de l'information géographique, et donc la mise en place d'Infrastructures de Données Spatiales (SDI).

La mise en oeuvre de SDI repose sur l'implémentation des spécifications de l'OGC concernant les web-services géographiques (WMS, WFS, WCS, ...). Il existe plusieurs solutions techniques oeuvrant pour la mise en service d'un ou plusieurs de ces web-services. Etant donné que chacune de ces solutions se conforme strictement aux spécifications de l'OGC/ISO, et qu'elles offrent des avantages certains chacune dans un contexte particulier, le choix de la technologie employée sera dépendante d'une expertise de la société en fonction des besoins du client.

Les technologies actuellement validées par le consortium AGIL, sont Mapserver, Geoserver et Deegree.

L'ensemble de l'Information géographique mise à disposition devant être aisément qualifiée et identifiée, son référencement au sein d'un catalogue de métadonnées est par conséquent

nécessaire. Compte tenu des compétences de la société en développement Java, et de son rapprochement récent avec des technologies compatibles GeoAPI, le système de catalogage et de recherche de métadonnées Geonetwork sera préférentiellement utilisé. Sa conception faisant massivement appel aux technologies XML, cela offre à l'outil, des capacités d'adaptations à de nombreuses solutions existantes (conversion/transformation de fichiers et de données).

4.2.3. Développement d'applications métier en environnement distribué

Les normes spécifiées par l'OGC/ISO, ne concernent pas les seules méthodes d'accès et d'interprétation de l'information géographique, elles décrivent aussi les modalités d'implémentation des traitements de cette information. Bien que soumises à un moins grand intérêt de la part des industriels, lesquels ont à gérer les orientations historiques de leurs propres développements, ces normes offrent toutefois l'avantage de permettre la construction d'applications complexes mettant en oeuvre des langages de programmation différents.

La géomatique est l'objet d'un important essor, et ce, dans pratiquement la totalité des secteurs d'activité, hors, certains métiers, ont opté pour l'usage de langages de programmation très spécifiques répondant très précisément à leurs attentes, c'est par exemple le cas des secteurs de pointe avec le langage ADA (ada95) réputé pour son haut niveau de fiabilité. Ce langage est notamment employé en France par le secteur automobile, les transports ferroviaires (TGV, Corail), les technologies aéronautiques (Thales Avionics et les technologies spatiales (Alcatel Space, CNES, Arianespace)).

Sur la base de ce constat, il devient clair que le développement de l'usage de l'information géographique au sein de structures existantes, doit passer par la mise en oeuvre de solutions techniques variées, et il est de ce fait nécessaire d'harmoniser la mise en oeuvre de ces développements.

Compte tenu de la nature distribuée de l'enjeu, de la disponibilité des solutions techniques, et en raison de la très grande diversité des technologies à mettre potentiellement en oeuvre, le choix des technologies dévolues à la mise en oeuvre du système AGIL, s'est porté sur le langage Java au travers du projet GeoAPI, et par conséquent, l'ensemble des projets qui en découlent (Geotools, Geoserver, Deegree, Udig ...etc.).

La majorité des solutions techniques proposées, sont à l'heure actuelle implémentées en langage Java en raison de son caractère multi plateforme et sa forte orientation réseau, l'adoption des GeoAPI, assure toutefois une interopérabilité totale avec des développements mettant en oeuvre d'autres langages de programmation, et l'agrégation au cadre existant de solutions très spécifiques est tout à fait envisageable.

L'originalité du système AGIL intervient donc dans sa maîtrise des processus de standardisation de l'information géographique tant sur les flux de données que sur les méthodes de développement, ainsi que sa capacité à mettre en oeuvre ses solutions dans une grande variété de secteurs d'activité.

4.3. Perspectives à la Réunion

La grande souplesse apportée par la mise en place des infrastructures de données spatiales, ainsi que leur capacité à fédérer des sources variées d'information géographique, en font un outil privilégié pour la gestion intégrée des zones côtières.

La mise en oeuvre d'un réseau d'exploitation de l'information géographique tel qu'il pourrait être envisagé à la Réunion passe impérativement par un inventaire détaillé des données existantes, ainsi que la conception d'une base de métadonnées. Un tel ouvrage ne peut être entrepris qu'au sein des structures réalisant ou possédant les couches d'information géographique. Afin de permettre la centralisation de ces informations au sein d'un catalogue de métadonnées, et doit être envisagé la mise en place d'un extranet au sein duquel les différentes institutions pourront saisir leurs métadonnées, ainsi qu'éventuellement une indication permettant la localisation des services de mise à disposition de l'information géographique.

Compte tenu des concepts précédemment énoncés, la mise en place d'une solution basée sur le système Geonetwork semble être une réponse de choix à l'initiation d'un projet de création d'une infrastructure de données spatiales à l'échelle de l'île.

5. CONCLUSION : L'ARTICULATION GESTION INTEGREE/OBSERVATION DE LA TERRE

La gestion intégrée des zones côtières est une démarche qui repose sur la spatialisation de la connaissance, que celle-ci porte sur le milieu physique, le milieu biologique ou le milieu anthropique, et qui produit des règles spatialisées, que celles-ci prennent la forme d'un zonage administratif ou légal de l'espace littoral, d'unités de gestion, de règles d'accès à ces espaces, d'un consensus entre acteurs pour réduire les conflits d'usage et mieux partager les ressources du littoral. Toute gestion intégrée des zones côtières est donc à la fois consommatrice et productrice d'espace, de surcroît à différentes échelles emboîtées. Dans ce contexte, l'articulation entre cette gestion intégrée et l'observation de la terre est évidente, cette dernière permettant une vue synoptique des états de surface qui forment l'espace littoral. Mais il convient d'aller au-delà, en assurant le couplage entre les états de surface et les logiques d'acteurs, de manière à ce que ces dernières enrichissent le sens de ceux-ci.

Dans le cas de ce projet, il est apparu une limite importante, à savoir la difficulté d'élaborer simultanément :

- un système de mise à disposition de l'information qui réponde à des attentes identifiées ; pour son élaboration il est nécessaire de disposer au plus tôt des données et des informations synthétiques produites,
- un ensemble de cartes multi-thématiques qui répondent à des problématiques validées par les utilisateurs potentiels,
- une approche utilisateurs qui suppose plusieurs allers et retours et une élaboration progressivement plus fine des cartes pour aboutir à une version utilisable.

Références

- Amanieu M., Chabanet P., Cuet P., Letourneur Y. & Naim O. (1993) Les récifs coralliens de la Réunion : état de l'environnement biologique et hydrobiologique, dégradations et perspectives de restauration. Rapport Envireg-Laboratoire de Biologie marine : 150 p. + annexes.
- Anonyme (1982) Etats régionaux de l'environnement. Livre blanc de l'environnement Réunion. St Denis, 29 p.
- ARVAM/ARDA (1996). Rapport de pré-audit (France-Réunion), bilan des activités socio-économiques et des modes de gestion de la zone côtière de la Réunion. Saint-Denis/ Port-Louis (Maurice) : PRE-COI/UE, 90p.
- Batti, A. (2005). Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa «érosion des sols » dans les bassins versants en amont du lagon de St Gilles (île de la Réunion). Montpellier, Master SILAT, rapport final, 54 p.
- Bouchon C. (1978) Etude quantitative des peuplements à base de Scléractiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). Thèse Univ. Aix-Marseille II, 2 vol. 206p.
- Chevalier P., Hébert A., Kaufmant T., Moyen J., Cartographie de l'aléa érosion des sols à la Réunion, Phase 1 : caractérisation et cartographie des phénomènes érosifs, Rapport BRGM RP - 51236-FR, 2001, SGR/REU 27.
- Chevalier P., De La Torre Y., Hébert A., et Kaufmant T, coll. Chabalier P.F., Cartographie de l'aléa érosion des sols à la Réunion, Phase 2 : caractérisation et cartographie (1/100 000 à 1/50 000) de l'aléa érosion, Rapport BRGM RP - 52031-FR, 2002, SGR/REU 22.
- Conand, C. (eds.), (1997) Récifs coralliens de la Réunion. La saline les Bains : *Vie Océane*, n° spécial, 12 p.
- Conand, C., Chabanet, P., Quod, J.P., Bigot, L., Jeudy de Grissac, A. (1998) Manuel méthodologique pour le suivi de l'état de santé des récifs coralliens du Sud-Ouest de l'océan Indien. Port-Louis (Maurice) : PRE-COI/UE, 27p.
- Conand, C., Cuet, P., Naïm, O. Mioche, D. (2002) Des coraux sous surveillance. *Pour la Science*, n° 298, pp.74-91.
- Cuet P., Naïm O., Faure G., Conan J-Y. (1988) Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of the Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean) : preliminary results. *Proc. 6th Intern. Coral reef Symp., Townsville*, 2 : 207-212.
- Despinoy, M., Minghelli-Roman, A., Begue, A., Petit, M., Coudray, J., Barcelo, A., 2003. Airborne CASI imagery for bathymetric study in Reunion Island (Indian Ocean). *Proceedings of IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium : "Learning from Earth's shapes and colors" (IGARSS 2003, Toulouse, July 21-25, 2003, 3p. 4fig).*
- Dutrieux E., Quod J.P., Bigot L., Hoarau S., Savelli A., Loubié S., Gayte O., Licari M.L., Letourneur Y. (1995) *Gestion intégrée du littoral de l'île de la Réunion. Document méthodologique préparatoire à la mise en place d'une planification environnementale.* Rapport pour le compte de la DIREN Réunion, 26 p.
- Faure G., (1982) *Recherche sur les peuplements de scléractiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental).* Thèse Univ. Aix-Marseille II, Vol. 1 : 230 p. ; vol 2 : 259 p.
- Gabriel, C. (1987) *Le monde merveilleux du récif à la Réunion.* Saint-Denis, Région Réunion, 12p.
- Gabriel C., Guillaume M., Simon J.P., Porcher M. (1989) *Etude de l'aménagement des milieux récifaux de l'île de la Réunion.* Rapport, Conseil Régional de la Réunion, 159 p.
- Guillaume M., Payri C.E., Faure G. (1983) Blatant degradation of coral reefs at the Reunion island (West Indian Ocean). *Intern.Soc. for Reef Stud., Ann.Meet., Nice* : 28.
- Lagabriele E., Metzger P., Martignac C., Durieux L., Grellet G. (2005) Guide critique d'utilisation des informations produites dans le cadre du projet TEMOS
- Lebourgeois V., (2003) Etude de la dynamique géomorphologique du récif frangeant de Saint Gilles / La Saline, île de la Réunion, par télédétection satellitaire. Mémoire de DESS, 83 p
- Montaggioni L. (1978) Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan indien occidental). Thèse Univ. Aix-Marseille II, 212 p. + annexes.

- Naïm O. (1988) Les récifs coralliens des îles du Sud-ouest de l'océan indien. *J.Nat, Univ. Réunion*, 1(1) : 105-120.
- Naïm O. (1989) Les platiers récifaux de l'île de la Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplements benthiques. *Rapport non publié AUR-Lab. Écol. mar., Univ. Réunion*, 150 pp.
- Raunet, M. (1991). Le milieu physique et les sols à la Réunion –Conséquences pour la mise en valeur agricole. CIRAD, Montpellier, 437 p.
- Ribes S. (1978) La macrofaune vagile associée à la partie vivante des Scléactiniaires sur un récif frangeant de l'île de la Réunion (Océan Indien). Doct. 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II, 167 pp.
- Roos D., Bertrand G., Tessier E. (1998) *La chasse sous-marine à la Réunion : premiers éléments descriptifs et quantitatifs sur une activité méconnue*. Ed. IFREMER, 70p.
- SECA-ENVIRONNEMENT, ACCORE (1995) *Charte réunionnaise de l'Environnement*. Saint-Denis.
- Soti V. (2003). Apport de la télédétection à la gestion intégrée du lagon de St Gilles/La Saline à l'île de la Réunion, un exemple d'application : cartographie et suivi des zones susceptibles à l'érosion des sols entre 1995 et 2002 par intégration des données SPOT. Montpellier, Master SILAT, rapport final, 41 p.
- Tergemina, G. (1999) Les fours à chaux de la Réunion. St Denis : Ed. Réunion expressions multiples, 56 p.
- Thiaville, C. (1992) Voyons bleu, soyons clairs : protection des lagons. Saint-Paul, Sous-préfecture, 99 p.
- Thomassin A. (2003) *Contribution de l'outil cartographique à la délimitation d'un éco-socio-système corallien : application à l'île de la Réunion*. DESS. Université PI, ENSG, IRD. Vol 1 : 30 p + cartes.